

Измерение и смешение цвета

Сэр Уильям де Уивелсли Эбни

Colour Measurement and Mixture

Sir William de Wiveleslie Abney



Электронная книга проекта "Гутенберг" по измерению и смешиванию цветов

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Измерение и смешение цвета

Автор: Сэр Уильям де Вивелсли Эбни

Дата выхода: 26 февраля 2012 г. [Электронная книга № 38984]

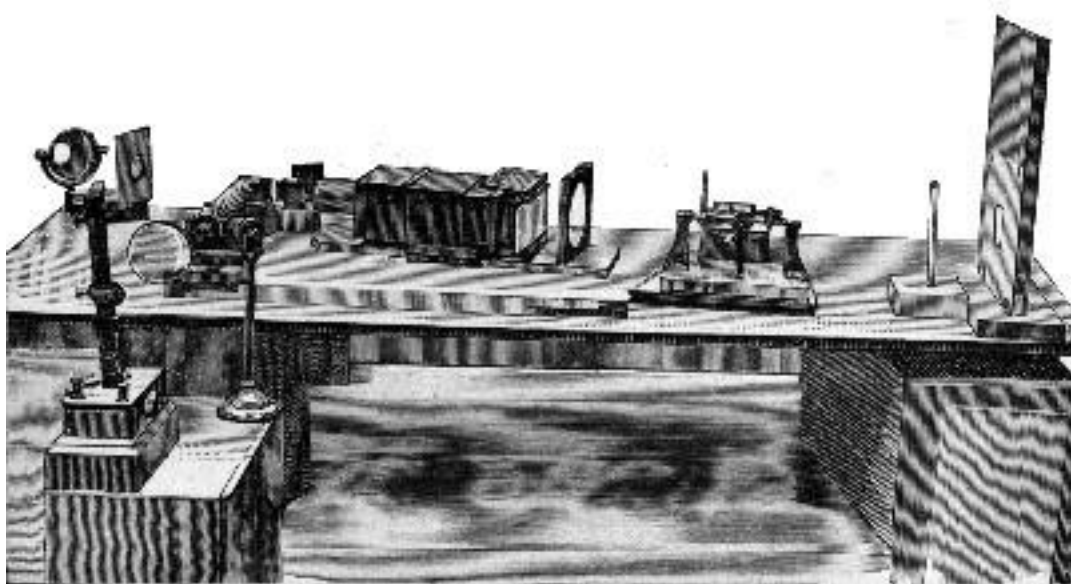
Последнее обновление: 8 января 2021 г.

Язык: Английский

В титрах: Подготовлено Крисом Карноу, Хейзел Бейти и командой онлайн-корректоров по адресу <https://www.pgdp.net> (Этот файл создан на основе изображений, щедро предоставленных интернет-архивом)

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННОЙ КНИГИ ГУТЕНБЕРГА "ИЗМЕРЕНИЕ И СМЕШИВАНИЕ ЦВЕТОВ" ***

В этом электронном тексте используется кодировка файла UTF-8 (unicode). Если апострофы, кавычки и греческий текст [ἀπολύτρωσις] в этом абзаце выглядят как мусор, возможно, у вас несовместим браузер или недоступны шрифты. Во-первых, убедитесь, что в “наборе символов” вашего браузера или “кодировке файла” установлено значение Unicode (UTF-8). Вам также может потребоваться изменить шрифт по умолчанию.



УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОКРАШИВАНИЯ.

РОМАНТИКА НАУКИ.

Измерение и смешение цвета

С многочисленными иллюстрациями.

КАПИТАНОМ У. де У. ЭБНИ, c.b., r.e., d.c.l., f.r.s.

ИЗДАЕТСЯ ПОД РУКОВОДСТВОМ КОМИТЕТА ПО ОБЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЕ И ОБРАЗОВАНИЮ,
НАЗНАЧЕННОГО ОБЩЕСТВОМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ХРИСТИАНСКИХ ЗНАНИЙ.

ОБЩЕСТВО СОДЕЙСТВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЮ ХРИСТИАНСКИХ ЗНАНИЙ.

ЛОНДОН: НОРТУМБЕРЛЕНД-АВЕНЮ, WC;

УЛИЦА КОРОЛЕВЫ ВИКТОРИИ, 43, E.C.

БРАЙТОН: НОРТ-СТРИТ, 135.

НЬЮ-ЙОРК: E. & J. B. YOUNG & CO.

1891.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Около десяти лет назад я намеревался провести три измерения спектра; во всяком случае, последние два были связаны с новыми методами экспериментов. Были проведены три измерения: (1) эффекта нагрева; (2) яркости; и (3) химического воздействия различных лучей спектра на различные соли. Теперь задача выполнена, и именно при выполнении второй ее части генерал Фестинг, который присоединился ко мне в исследовании, и я сам были привлечены к более широкому изучению цвета, чем предполагалось вначале, поскольку разработанный нами аппарат позволил нам проводить эксперименты, которые, хотя и были трудными при обычных обстоятельствах, стали простыми в проведении. Дважды по приглашению Общества искусств я читал краткий курс лекций на тему цвета и, естественно, решил рассматривать его с точки зрения наших собственных методов экспериментирования; и эти лекции, расширенные и модифицированные, составляют основу настоящего тома.

Как трактат, он обязательно должен быть неполным, поскольку едва затрагивает историю предмета — ту часть, которая всегда должна представлять глубокий интерес. Чисто физиологический аспект цвета также почти не рассматривался; та часть, которую физик может подвергнуть измерению, является той, которая единственная была осуществима в данных обстоятельствах.

W. de W. Эбни.

*Южный Кенсингтон,
1 мая 1891 года.*

Содержание.

ГЛАВА I.

Источники света—Отраженный свет—Отражение от шероховатых поверхностей—Цветовые константы *стр.* 11

ГЛАВА II.

Стандарт освещения—Формирование спектра призмами и дифракционной решеткой—Длины волн основной линии Фраунгофера—Положение цветов в спектре *стр.* 17

ГЛАВА III.

Видимая и невидимая части спектра—Методы доказательства существования невидимых частей—Фосфоресценция—Фотографирование темных лучей—Термоэлектрические токи *стр.* 30

ГЛАВА IV.

Описание устройства для изменения цвета—Вращающиеся сектора—Метод построения шкалы для спектра *стр.* 41

ГЛАВА V.

Поглощение спектра—Анализ цвета—Колебания лучей—Поглощение пигментами—Фосфоресценция—Интерференция *стр.* 51

ГЛАВА VI.

Рассеянный свет—Цвета заката—Закон рассеяния мелкими частицами—Облака на закате—Яркость солнечного света на разных высотах от Солнца *стр.* 62

ГЛАВА VII.

Яркость спектра для людей с нормальным зрением и дальтоников—Метод определения яркости пигментов—Добавление одной яркости к другой *стр.* 76

ГЛАВА VIII.

Методы измерения интенсивности различных цветов спектра, отраженных от пигментированных поверхностей—Шаблоны для спектра *стр.* 88

ГЛАВА IX.

Сочетания цветов —Желтое пятно в глазу—Сравнение различных источников света—Простые цвета путем смешивания простых цветов—желтого и синего из белого *стр.* 112

ГЛАВА X.

Исчезновение цвета из—за белого света -Исчезновение белого света из-за цвета *стр.* 126

ГЛАВА XI.

Основные цвета—Молекулярные колебания—Цветовые ощущения—Ощущения, отсутствующие у дальтоников *стр.* 133

ГЛАВА XII.

Формирование цветовых уравнений—Кривые Кенига—Аппарат и кривые Максвелла *стр.* 147

ГЛАВА XIII.

Сопоставление сложных цветов с простыми цветами —Все цвета сведены к числам —Метод сопоставления цвета с цветом спектра и белым светом *стр.* 156

ГЛАВА XIV.

Дополнительные цвета—Дополнительные цвета пигментов—Измерение дополнительных цветов
стр. 167

ГЛАВА XV.

Сохранение изображений на сетчатке —использование цветных дисков *стр.* 179

ГЛАВА XVI.

Контрастные цвета—Измерение контрастных цветов—Усталость глаз—После получения изображений *стр.* 196

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ.

РИС.	СТРАНИЦА
Устройства для окрашивания	<i>Фронтисписа</i>
1. Спектр солнечного света	18
2. Углеродные полюса электрического источника	20
3. Кривая преобразования призматического спектра в длины волн	28
4. Термоэлемент	35
5. Нагревательный эффект различных источников излучения	38
6. Устройство для изменения цвета	42
7. Вращающиеся секторы	45
8. Спектр углерода, натрия и лития	48
9. Интерференционные полосы	60
10. Поглощение лучей атмосферой	68
11. Кривая яркости спектра положительного полюса электрического света	79
12. Белые и киноварные прямоугольники	82
13. Устройство для измерения яркости пигментов	83
14. Измерение интенсивности лучей, отраженных от белых и цветных поверхностей	88
15. Интенсивность лучей, отраженных от киновари, изумрудно-зеленого и французского ультрамарина	92
16. Способ получения двух пятен одинакового цвета	95
17. Поглощение красными, синими и зелеными стеклами	99
18. Свет, отраженный от металлических поверхностей	100
19. Интенсивность киновари, кармина, йодида ртути и индийского красного	101
20. Интенсивность цвета гамбоги, индийского желтого, кадмиево-желтого и желтой охры	101

21. Интенсивность изумрудно-зеленого цвета, оксида хрома и земли	103
22. Интенсивность цвета индиго, антверпенского синего, кобальта и французского ультрамарина	104
23. Способ получения цветового шаблона	104
24. Карминовый шаблон	106
25. Шаблон яркости белого света	108
26. Поглощение проходящего и отраженного света берлинской лазурью и кармином	107
27. Коллиматор для сравнения интенсивности двух источников света	109
28. Интенсивность спектра солнечного света, газового фонаря и голубого неба	109
29. Сравнение солнечного и небесного света	111
30. Слайд с прорезями для использования в спектре	113
31. Экран, на котором сравнивается гамма-излучение	116
32. Диафрагма перед призмой	128
33. Кривая чувствительности бромистодида серебра	136
34. Кривые цветовых ощущений	139
35. Кривые цветовых ощущений Кенига	151
36. Цветной ящик Максвелла	152
37. Кривые цветовых ощущений Максвелла	154
38. Хроматический круг	168
39. Диск, вызывающий попеременное открывание и закрывание двух щелей	179
40. Диск, окрашенный в синий и красный цвета	181
41. Электродвигатель с прикрепленными дисками	183
42. Способ отрезания диска для перекрытия второго диска	184
43. Устройство для определения значения гамб в терминах изумрудно-зеленого и киноварного	188
44. Диск устроен так, чтобы давать приблизительно все цвета спектра	192
45. Способ отображения контрастных цветов	196

ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА

и

СМЕСЬ.

ГЛАВА I.

Источники света—Отраженный свет—Отражение от шероховатых поверхностей—
Постоянные цвета.

Возможно, в нашей повседневной жизни нет ничего, что привлекало бы ум больше, чем цвет, но большинство человечества настолько привыкло к его влиянию, что лишь немногие останавливаются, чтобы поинтересоваться, "почему и зачем" он существует, или его причиной. Для тех немногих, однако, его изучение является источником бесконечного удовольствия; ибо в области физической науки, пожалуй, нет другого предмета, в котором эксперименты давали бы столь увлекательные и часто столь красивые результаты. Хотя за ее серьезное изучение нужно браться с ясным умом, наметанным глазом и изрядным запасом терпения, все же общее представление об этом предмете могут составить те, кто обладает лишь обычным интеллектом.

Цветовые феномены встречаются почти каждый день в жизни человека, и тот факт, что они встречаются так часто, не позволяет уделять им должного внимания или даже замечать их. Кто из нас, например, заметил существование того, что называется положительным и отрицательным после изображения, после взгляда на какой-нибудь сильно освещенный объект, или оценил бы тот факт, что определенная часть нервной системы может быть утомлена цветом и вызывать образы, дополняющие его, если бы предприимчивый рекламодатель, производящий предметы первой необходимости, не обратил на это внимание таким образом, который нельзя было бы неправильно понять.

Если осенним днем мы проходим по саду, когда еще совершенно светло, мы можем заметить великолепную окраску цветов и оценить глазами красоту каждого оттенка. С наступлением вечера оттенки темнеют, самые темные цветы начинают терять свой цвет, и только самые яркие бросаются в глаза. Когда ночь еще больше сгущается, все краски исчезают, хотя очертания цветов все еще можно различить; и в некоторых местах было бы вполне возможно увидеть крошечное пятнышко бледного света на земле среди них. Это пятнышко света, которое мы должны знать по опыту, является светом светлячка. Почему мы теряем окраску цветов и распознаем крошечный огонек, исходящий от этого маленького червячка? Причина первого заключается в том, что для того, чтобы объекты, которые вообще не являются самосветящимися, были видны, свет должен падать на них и освещать их, и свет, который они отражают, может быть цветным, если они обладают свойствами отражать цветной свет. Свет светлячка виден не потому, что он не излучает света днем, а потому, что глаз, будучи ограниченным по чувствительности, не в состоянии различить его, когда он залит дневным светом. Светлячок, однако, самосветящийся, о чем свидетельствует тот факт, что он излучает свет в темноте, причем сам свет слегка окрашен по сравнению с дневным. То, что пламя свечи или солнце самосветящиеся, является аксиомой, и не нужно философствовать над этим; но что должно быть внушено читателю, так это то, что, хотя объект, который требует освещения, чтобы его можно было увидеть, не является самосветящимся, тем не менее, когда его освещают, он фактически становится источником освещения для глаза, хотя свет - это всего лишь свет, отраженный от его поверхности. Стоит помнить, что чем шероховатее поверхность предмета, тем ярче он будет казаться глазу. То есть цветной объект, отполированный до блеска, будет

плохим вторичным источником освещения, поскольку падающий на него свет будет очень близко отражаться от поверхности в соответствии с обычными законами отражения; но если его придать шероховатости, он станет гораздо лучшим источником, поскольку шероховатости, хотя и подчиняются законам отражения, будут отражать свет во всех направлениях. Хорошим примером этого является обычный лист стекла. Свет от источника, падающий на его поверхность, практически не отражается ни в каком направлении, кроме того, которое определяется обычными законами отражения, и он будет едва заметен глазу. Однако отшлифуйте его поверхность, и бесчисленные грани, образовавшиеся в результате шлифовки, будут отражать свет обратно к глазу, в каком бы положении он ни находился, и, таким образом, будут отчетливо видны.

Здесь мы можем предположить, что даже самая шероховатая поверхность будет отражать больший процент света — сильно варьирующийся в зависимости от природы поверхности — в том направлении, в каком он отражался бы, если бы это была гладкая поверхность, чем в любом другом; и при измерении света, неравномерно отраженного от шероховатой поверхности, этот факт следует иметь в виду.

Мы должны не только знать, как создается цвет, но и уметь соотносить его с каким-либо стандартом, который должен быть легко воспроизведен и который должен быть неизменным. Есть два переменных фактора, которые необходимо учитывать при цветовых экспериментах: первый - это качество света, который освещает объект, а второй - чувствительность глаза, который его воспринимает, поскольку свет - это всего лишь ощущение, которое распознается мозгом через посредство глаза. По мере продвижения мы увидим, что различные качества света могут заставлять объекты казаться разных оттенков, и, кроме того, что глаза могут различаться по способности восприятия до такой степени, о которой подавляющее большинство людей не подозревает. Следовательно, становится необходимым, насколько это возможно, исключить эти переменные.

Задача, которую мы поставили перед собой в таком случае, состоит в том, чтобы сначала найти подходящий свет для экспериментальной работы, а затем попытаться соотнести цвет с глазом, у которого нет аномальных дефектов. Достигнув этого, мы должны затем найти средства для измерения различных констант, связанных с цветом, и соотнести измерения с каким-либо стандартом. Цветовых констант три, а именно. оттенок, яркость и чистота; и будет видно, что если эти три фактора определены, измерение цвета завершено.

Возможно, значение этих терминов требует пояснения. Оттенок цвета - это то, что в просторечии часто называют цветом. Таким образом, мы говорим о розовом, фиолетовом, пурпурном, изумрудно-зеленом и так далее, но для целей измерения оттенок лучше всего относить к цветам спектра в качестве стандарта (способы этого будут кратко объяснены), поскольку это простые цвета, которые можно выразить числами. Сложные цвета, которые, можно сказать, неизменно встречаются в природе, являясь смесями простых цветов, с такой же легкостью могут быть отнесены к спектру. Под яркостью цвета мы подразумеваем его яркость, эталоном которой является яркость белой поверхности при освещении тем же белым светом. Под чистотой цвета мы подразумеваем его отсутствие примеси белого света. Пример разной степени чистоты можно найти в акварелях разной плотности. Таким образом, если мы вымоем лист бумаги с легким карминовым оттенком, белизна бумаги не исчезнет; если мы проведем по

нему еще одну стирку, белизна бумаги уменьшится, и так далее. Самый светлый оттенок - это тот, которому больше всего не хватает чистоты.

ГЛАВА II.

Стандартный свет—Формирование спектра призмами и дифракционной решеткой—Длины волн основной линии Фраунгофера-Расположение цветов в спектре.

Поскольку мы должны обратиться к спектру чистых и простых цветов, из которого мы можем получить любой сложный цвет, с которым мы, возможно, пожелаем иметь дело, мы сначала рассмотрим свет, с помощью которого мы будем его формировать. Спектр может быть получен из любого источника света, такого как солнечный свет, освещение в центре внимания, электрический свет, газовый свет или лампа накаливания, а также из раскаленных паров или газов; но только твердое тело, которое раскалено добела, даст нам так называемый *непрерывный* спектр, то есть спектр, который не прерывается промежутками невидимости или внезапным изменением яркости по всей его длине.

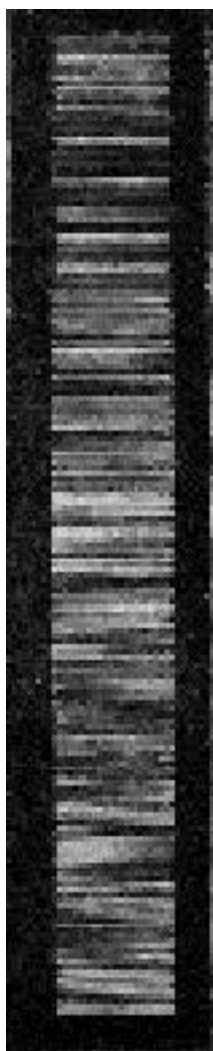


Рис. 1.Спектр солнечного света.

Большим желанием для изучения цвета является свет, который не только дает практически непрерывный спектр, но и создается излучением вещества, которое на холоде становится черным и которое может поддерживаться при постоянно высокой температуре. Мы намеренно сказали "черный" в приведенном выше предложении, поскольку считается, что тела разного цвета при нагревании до одинаковых температур могут не давать одинаковой относительной интенсивности в разных частях спектра, причем изменение зависит от цвета нагретого тела. Черное тело всегда должно давать один и тот же видимый спектр при нагревании до одной и той же температуры. Спектр солнечного света ([рис. 1](#)) не является непрерывным, поскольку мы обнаруживаем, что его пересекает бесчисленное количество тонких линий различной ширины и черноты. Это отсутствие непрерывности не было бы фатальным для его применения, если бы его можно было использовать за пределами нашей атмосферы, поскольку тогда, если бы не менялась температура самого солнца, создаваемый спектр оставался бы неизменным; но, к сожалению, относительная яркость или светимость различных частей спектра меняется изо дня в день и от часа к часу в зависимости от высоты солнца над горизонтом (см. [Главу VI.](#)); а его интегральная яркость меняется в зависимости от ясности неба. Таким образом, очевидно, что в качестве эталонного источника света солнечный свет наиболее неподходящий, поэтому мы можем исключить его из наших возможных стандартов.



Рис. 2. Углеродные полюса электрического фонаря.

Посредством процесса исключения мы можем прийти к свету, на который мы можем положиться для поставленной нами цели, а именно. получение спектра умеренного размера и достаточно яркого, чтобы его было хорошо видно при проецировании на экран. Для некоторых целей, как, например, для ознакомления с общим характером спектра, может быть использован более слабый свет, такой как газовый фонарь или свет электрических ламп накаливания, поскольку спектр может быть виден непосредственно глазом без вмешательства экрана. У них есть два недостатка для нашего объекта: один заключается в недостатке общей интенсивности, а другой - в слабой яркости синих и фиолетовых лучей в их спектре (см. [стр. 110](#)). Внимание, которое мы также можем отбросить из-за отсутствия устойчивости. Его белизна и яркость меняются в зависимости от содержания кислорода в известковом цилиндре, что делает относительную интенсивность различных частей спектра настолько неустойчивой, что делает его ненадежным. Это оставляет (электрическую) дуговую лампу единственной, которая действительно доступна. Помните, как производится дуговая лампа. Электрический ток проходит между концами двух толстых черных углеродистых стержней, или полюсов, как их еще называют, через небольшое воздушное пространство, и при прохождении тока кончики этих стержней раскаляются добела ([рис. 2](#)). Центр конца одного полюса, называемого положительным полюсом, где образуется углубление, похожее на кратер, - это та часть, которая нагревается сильнее всего, и ее температура, по-видимому, постоянна и соответствует температуре улетучивания углерода. Автор провел многочисленные эксперименты, и он обнаружил, что свет, излучаемый этим кратером на положительном полюсе, в пределах погрешности наблюдения всегда одинаковой белизны и, следовательно, дает спектр, который неизменен в пропорциональных интенсивностях различных цветов. Когда будут описаны эксперименты, проведенные для определения яркости спектра, вам будет легко понять метод определения этого.

В спектре, создаваемом этим светом, есть два места в фиолетовом диапазоне, где имеются полосы фиолетовых линий, немного более яркие, чем общий спектр. В основном они возникают

из-за света, испускаемого раскаленными парами углерода, которые улетучиваются и перемещаются между двумя полюсами (см. Рис. 2); но поскольку эти полосы имеют лишь небольшую визуальную интенсивность и расположены ближе к границе видимого спектра, они не мешают измерению цветов глазом, хотя в определенной степени мешают анализу излучения с помощью фотографии. Однако, если мы перенесем положительный полюс немного за отрицательный полюс, мы сможем значительно смягчить это зло. Мы можем разделить углеродные стержни до такой степени, чтобы раскаленный добела кратер был обращен к наблюдателю, и значительная часть дуги была скрыта. Это хорошо видно на рисунке.

Теперь мы описали свет, который мы приняли, и причины его принятия; и, получив наш свет, теперь мы можем рассмотреть, по какому плану мы будем формировать наш спектр. Перед нами открыты два пути — один с помощью стеклянных призм, а другой с помощью дифракционной решетки. Стеклянные призмы разделяют белый свет, или вообще любой другой свет, на его составляющие, исходя из того факта, что преломление каждого цветного луча отличается от любого другого. Таким образом, красные лучи преломляются меньше всего, а фиолетовые — больше всего, а желтый, зеленый и синий занимают промежуточное положение между ними, располагаясь в порядке наименьшей преломляемости. Между ними, конечно, есть все оттенки простого цвета, один перетекает в другой. Чтобы сформировать чистый и яркий спектр с помощью призм в помещении ограниченных размеров, мы должны использовать определенные вспомогательные устройства, которые не являются безусловно необходимыми, хотя и удобны. Самыми необходимыми элементами для формирования спектра являются узкая щель, стеклянная призма с идеально плоскими гранями и линза. Если это единственное доступное устройство, щель должна располагаться на большом расстоянии от призмы, луч света должен проходить через щель на призму, а линза должна располагаться на таком расстоянии от щели, чтобы она формировала четкое изображение на экране. Когда свет проходит через призму, экран нужно будет повернуть по дуге окружности так, чтобы его расстояние от щели, измеренное вдоль линии луча до призмы, и от призмы до экрана было таким же, каким оно было бы без промежуточной призмы. Однако устройство с таким описанием неудобно, поскольку для него требуется гораздо больше места, чем часто доступно. Если между щелью и призмой поместить линзу точно на ее фокусном расстоянии от первой, свет, попадающий в щель, после прохождения через линзу будет проявляться в виде параллельных лучей, то есть они будут проявляться так, как если бы щель была расположена на бесконечном расстоянии от наблюдателя.

Фокусное расстояние этого коллимирующего объектива должно быть не более двенадцати-восемнадцати дюймов, так что большое пространство, требуемое более грубым устройством, значительно сокращается. Линза и прорезь установлены по одному на каждом конце трубки необходимой длины и, таким образом, удобны в использовании.

Вместо одной призмы могут использоваться две или три, что дает угловую дисперсию спектра соответственно в два или три раза больше, чем та, которую давала бы только одна призма; следовательно, для получения заданной длины спектра с увеличенной дисперсией фокусное расстояние линзы, используемой для фокусировки изображения на экране, может быть уменьшено.

Недостатком использования призм является то, что дисперсия красного конца спектра намного меньше дисперсии синего конца и может создавать ложное впечатление относительно

относительной яркости и длины спектра, занимаемого различными цветами. В некоторых учебниках нам говорится, что дифракционная решетка дает нам дисперсию, которая находится в точном соотношении с длиной волны. Однако это неверно, поскольку в таких отношениях он может дать только одну небольшую часть, и то только тогда, когда он специально установлен для этой цели. Тема дифракции - это такая тема, углубляться в которую было бы чуждо нашей цели. Мы можем сказать, что для таких измерений, которые мы проведем, удобнее использовать призмы, поскольку призматический спектр более интенсивен, чем дифракционный. Это можно легко понять, если мы рассмотрим предмет хотя бы поверхностно. Если мы направим луч света на решетку, которая содержит, возможно, около 14 000 параллельных линий на пространстве шириной в один дюйм, причем линии нанесены на плоскую и блестящую металлическую поверхность, и получим отраженный луч на экране, то увидим белое центральное пятно вместе с шестью или семью спектрами постепенно уменьшающейся яркости с каждой стороны от него, все, кроме первой пары, перекрывают друг друга. То, что эти различные спектры действительно существуют, можно легко продемонстрировать, поместив в луч кусок красного стекла, когда будут обнаружены симметричные пары красной части спектра, причем одна из каждой пары находится на противоположных сторонах того, что теперь будет центральным красным пятном. Половина света, падающего на решетку, концентрируется в этом центральном пятне, а оставшаяся половина идет на формирование спектров; пара, ближайшая к центральному пятну, является самой яркой. Таким образом, мы приходим к выводу, что снаружи у нас может быть только менее одной четверти падающего света, чтобы сформировать максимально яркий спектр, который мы можем использовать. С двумя хорошими призмами мы используем не менее трех четвертей падающего света, так что при той же длине спектра мы можем получить по крайней мере в три раза большую среднюю яркость, которую мы получили бы, если бы использовали дифракционную решетку.

Теперь мы должны освежить память читателя несколькими простыми фактами о свете, чтобы прояснить наш смысл, когда мы говорим о лучах различной длины волны. Каждый цвет в спектре имеет разную длину волны, и именно благодаря этой разнице в длине волны мы можем разделить их с помощью преломления или дифракции и изолировать. Свет, как и любое другое излучение, вызывается ритмическими колебаниями неосознанной среды, которую мы, за неимением лучшего термина, называем эфиром, а расстояние между двумя из этих волн, находящихся в одной фазе, называется длиной волны конкретного излучения. Величина колебаний называется амплитудой, которая в квадрате фактически является мерой *интенсивности* излучения. Таким образом, в море расстояние между гребнями двух волн равно длине волны, а высота от впадины до гребня - амплитуде; а интенсивность, или мощность выполнения работы, двух волн одинаковой длины, но разной высоты, равна квадрату их высот. Таким образом, если бы высота одного из них составляла одну единицу, а двух других - две единицы, то последний мог бы выполнять в четыре раза больше работы, чем первый. Волны излучения, которые дают ощущение цвета в спектре, различаются по длине, возможно, не в той степени, которую можно себе представить, учитывая большую разницу, воспринимаемую глазом, но все же они заметно отличаются. На тот факт, что спектр солнечного света не является непрерывным, а разбит бесчисленными тонкими линиями, уже упоминалось. Положение этих линий всегда одно и то же в отношении цвета, в котором они расположены, и абсолютно фиксировано, поскольку мы знаем длину их волны; следовательно, если мы знаем длины волн этих линий, мы можем отнести к ним цвет, в котором они лежат. Теперь, некоторые линии солнечного спектра более черные и, следовательно, более заметные, чем другие, и вместо того,

чтобы относить цвета к более тонким линиям, мы можем отнести их к расстоянию, на котором они находятся от одной или нескольких из этих более темных линий, где эти последние абсолютно неподвижны; фактически они действуют как километровые знаки на дороге.

Красным выделены три линии в солнечном спектре, которые для удобства обозначения называются А, В и С; оранжевым - линия под названием D, зеленым - линия под названием E, синим - F, фиолетовым - G и крайне фиолетовым - H. Эти линии являются нашими базовыми линиями, и к ним могут быть отнесены все цвета. Ниже приведены длины волн этих линий в масштабе **1/10 000 000** миллиметра в качестве единицы измерения

A	7594
B	6867
C	6562
D	5892
E	5269
F	4861
G	4307
H	3968

Когда спектр создается призмами, интервалы между этими линиями не пропорциональны длинам волн, и, следовательно, если мы измеряем расстояние луча в спектре от двух из этих линий, нам приходится прибегать к вычислениям или к графически нарисованной кривой, чтобы определить длину его волны. Для проведения экспериментов с цветом достаточно графической кривой, по которой можно сразу определить длину волны. На следующей схеме (рис. 3) показано, как это можно сделать.

Названия и диапазон основных цветов, которые видны в спектре, были предметом некоторых споров. Профессор Руд, однако, сделал наблюдения, которые могут быть приняты как правильные при умеренно ярком спектре. Если спектр разделить на 1000 частей между А в красном и H, границей фиолетового, то получится следующая таблица цветов.

Масштаб.	Цвет.
От 0 до 149	Красный.
от 149 до 194	Оранжевый красный.
от 194 до 210	Оранжевый.
от 210 до 230	Оранжево-желтый.
от 230 до 240	желтый.
от 240 до 344	Желто-зеленый и зелено-желтый.
от 344 до 447	зеленый и сине-зеленый.
от 447 до 495	Лазурно-голубой.
от 495 до 806	синий и сине-фиолетовый.
от 806 до 1000	фиолетовый.

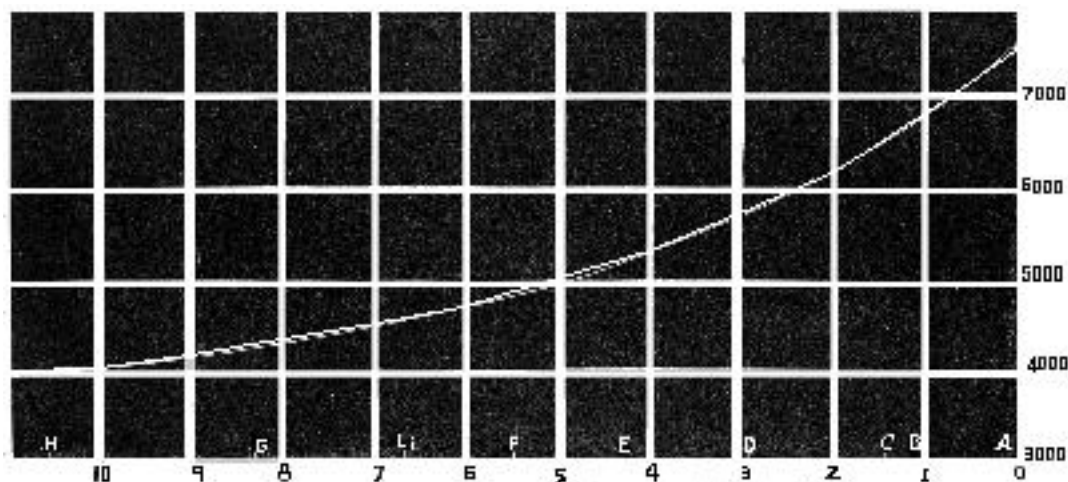


Рис. 3.Кривая

преобразования призматического спектра в длины волн.

В приведенном выше масштабе (рис. 3) $A = 0$, $B = 74 \cdot 0$, $C = 112 \cdot 7$, $D = 220 \cdot 3$, $E = 363 \cdot 1$, $F = 493 \cdot 2$, $G = 753 \cdot 6$, $H = 1000$.

Это основные цветовые подразделения, но следует помнить, что одно перетекает в другое. Когда спектр очень яркий, цвета имеют тенденцию изменять свой оттенок; таким образом, оранжевый становится бледнее, желтый - белее, а синий - бледнее. С другой стороны, если уменьшить яркость спектра, то цвета, как правило, изменяются в противоположном направлении. Таким образом, желтый цвет почти исчезает и приобретает зеленый оттенок, в то время как оранжевый становится краснее, а сам спектр становится для глаза короче, чем раньше.

Давайте, однако, строго оградим себя от критики о том, что все видят по-разному. Достаточно сказать, что приведенная выше таблица верна для обычного глаза и не обязательно применима к тем, у кого нарушено зрение в отношении цветоощущения.

ГЛАВА III.

Видимая и невидимая части спектра—Методы доказательства существования невидимых частей—Фосфоресценция—Фотографирование темных лучей—Термоэлектрические токи.

Рассматривая спектр, мы склонны забывать, что то, что видит глаз, - это не все, что можно обнаружить при призматическом анализе света. Следует помнить, что спектр не ограничивается теми лучами, которые воспринимает глаз. Существуют лучи как за пределами крайнего фиолетового, так и за пределами крайнего красного диапазона, которые существуют и которые оказывают заметное влияние на мировую экономику. Таким образом, лучи за фиолетовым - это те, которые вместе с фиолетовым и синим лучами в основном воздействуют на растительность, вызывая определенные химические изменения, необходимые для ее роста и здоровья; в то время как лучи ниже красного - это лучи, обладающие наибольшим количеством энергии, и если они падают на тела, которые их поглощают, как это в определенной степени делают почти все тела, они нагревают их. Тепло, которое мы ощущаем от солнечного света, в основном связано с темными лучами, которые лежат ниже красного цвета спектра.

Существование обоих видов этих темных лучей может быть продемонстрировано очень простым способом по эффекту, который они производят на определенные тела. Например, существует желтый краситель, которым окрашивают дешевую ленту, который при размещении в спектре и за пределами фиолетового вызывает видимое удлинение спектра. Свет в недавно видимой и некогда невидимой части спектра - желтый, цвета самой ленты. Фактически, вся та часть спектра, которая на белом экране видится как синяя и фиолетовая, становится желтой, а красный и зеленый остаются неизменными. Это изменение цвета происходит из-за флуоресценции, светового явления, которое, как обнаружил сэр Г. Стоукс, было вызвано изменением длины световых волн при отражении от определенных тел. Под этим не подразумевается, что длина волны любого луча, падающего на тело, может быть изменена отражением, а только то, что само тело, на которое падают лучи, испускает лучи света, которые не имеют той же длины волны, что и те, которые падают на него. Итак, это факт, что лучи, которые лежат за фиолетовым и которые обычно невидимы, короче фиолетовых лучей, и что они короче желтых лучей. Отсюда следует, что когда то, что мы можем сейчас назвать ультрафиолетовыми лучами, падает на окрашенную в желтый цвет ленту, излучаемые ею волны настолько удлиняются, что кажутся глазу желтыми, а не темными, фиолетовыми или синими.

Мы также можем нанести на экран раствор хинина, и сразу же место, на которое падают ультрафиолетовые лучи, осветится фиолетовым светом. Мы не видим самих ультрафиолетовых лучей, а только лучи увеличенной длины волны, которые испускаются в результате их воздействия на сульфат хинина. Обычное машинное масло, используемое для двигателей, также излучает зеленоватые лучи при воздействии ультрафиолетовых лучей, и оно очень красивого цвета. Таким образом, флуоресценция является одним из средств демонстрации существования ультрафиолетовых лучей — или лучей Риттера, как их раньше называли в честь их первооткрывателя, — очень простым способом. Также интересен метод передачи эффектов инфракрасных лучей, видимых глазу. Все или, по крайней мере, большинство наших читателей видели светящиеся краски Balmain. Видно, что стекло или карточка, покрытые этим веществом, которое по существу является сульфидом кальция, при воздействии солнечного света или электрической дуги, а затем помещенные в сравнительную темноту, светятся особым фиолетовым светом. Если при таком возбуждении мы поместим его на некоторое время в яркий спектр, то, выключив свет, мы обнаружим, что там, где на него падали ультрафиолетовый и синий, фиолетовый свет интенсивнее света основной части экрана; там, где падал желтый, яркость не увеличивалась и не уменьшалась; но в красном он становится темнее, а также выходит за пределы видимого спектра, что указывает на существование лучей за его пределами, которые из-за своей большей длины не способны воздействовать на глаз. Однако,

если отключить спектр очень скоро после того, как он упадет на пластинку, утверждается, что красные и инфракрасные лучи увеличили яркость той конкретной части пластины, на которую они упали. На первый взгляд кажется, что эти два наблюдения противоречат друг другу; на самом деле это не так. Мы можем подвергнуть таблетку краски Balmain воздействию света и приложить нагретый утюг к обратной стороне пластины; тогда мы обнаружим, что утюг создает яркое изображение ее поверхности на менее ярком фоне. Это яркое изображение постепенно исчезнет, и то же самое пространство в конечном итоге станет темным по сравнению с остальной частью пластины. Причина этого ясна. Когда свет возбуждает краску, в нее вливается определенное количество энергии, которую она медленно излучает в виде света. Когда с ним соприкасается горячий утюг, нагрев заставляет свет излучаться быстрее и, следовательно, с большей интенсивностью в той части, которой соприкасается его поверхность, и энергия этой конкретной части расходуется. Когда энергия излучения этой части становится меньше, чем у остальной части планшета, ее освещение обязательно должно быть менее ярким, чем у фона, с которым не соприкасался нагретый утюг. По этой причине изображение утюга впоследствии кажется темным. Вскоре мы увидим, и, как указывалось ранее, что основной нагревающий эффект спектра заключается в красном и инфракрасном диапазонах, и именно из-за нагревания краски этими лучами изображение может быть сначала немного ярче фона, а затем темнее.

Существует еще один способ продемонстрировать существование как ультрафиолетовых, так и инфракрасных лучей, и это с помощью фотографии. Если мы поместим обычную фотопластинку в спектр и проявим ее, мы обнаружим, что помимо воздействия синего и фиолетового лучей, на нее также воздействуют лучи за пределами фиолетового диапазона, энергия этих лучей способна вызвать разложение чувствительной соли серебра. Если использовать кварцевые призмы и линзы, а источником освещения будет электрический свет, ультрафиолетовый спектр расширится до огромных размеров. Более сложный, но, возможно, даже более интересный способ проиллюстрировать существование инфракрасных лучей, и в первую очередь благодаря автору, может быть создан с помощью фотографии. Можно изготовить фотографическую пластинку с бромистым серебром, которое так устроено на молекулярном уровне, что становится способным разлагаться не только фиолетовыми и синими лучами, но и красными лучами, а также теми лучами, длина волны которых почти в три раза больше длины волны красных лучей. Было бы неуместно вдаваться в описание метода приготовления этих пластин. Те, кому это интересно, найдут описание в лекции Бакериана, опубликованной в "Философских трудах Королевского общества" за 1881 год. С помощью подготовленных таким образом пластин было обнаружено, что можно получать оттиски в темноте с помощью лучей, исходящих от черного объекта, нагретого только до черного цвета.

То, что эти темные лучи обладают большей энергией или способностью выполнять какую-либо работу, чем любые другие лучи спектра, можно показать с помощью линейного термоэлемента (рис. 4), если он устроен так, чтобы пропускать только узкий вертикальный срез света, достигающий его поверхности.

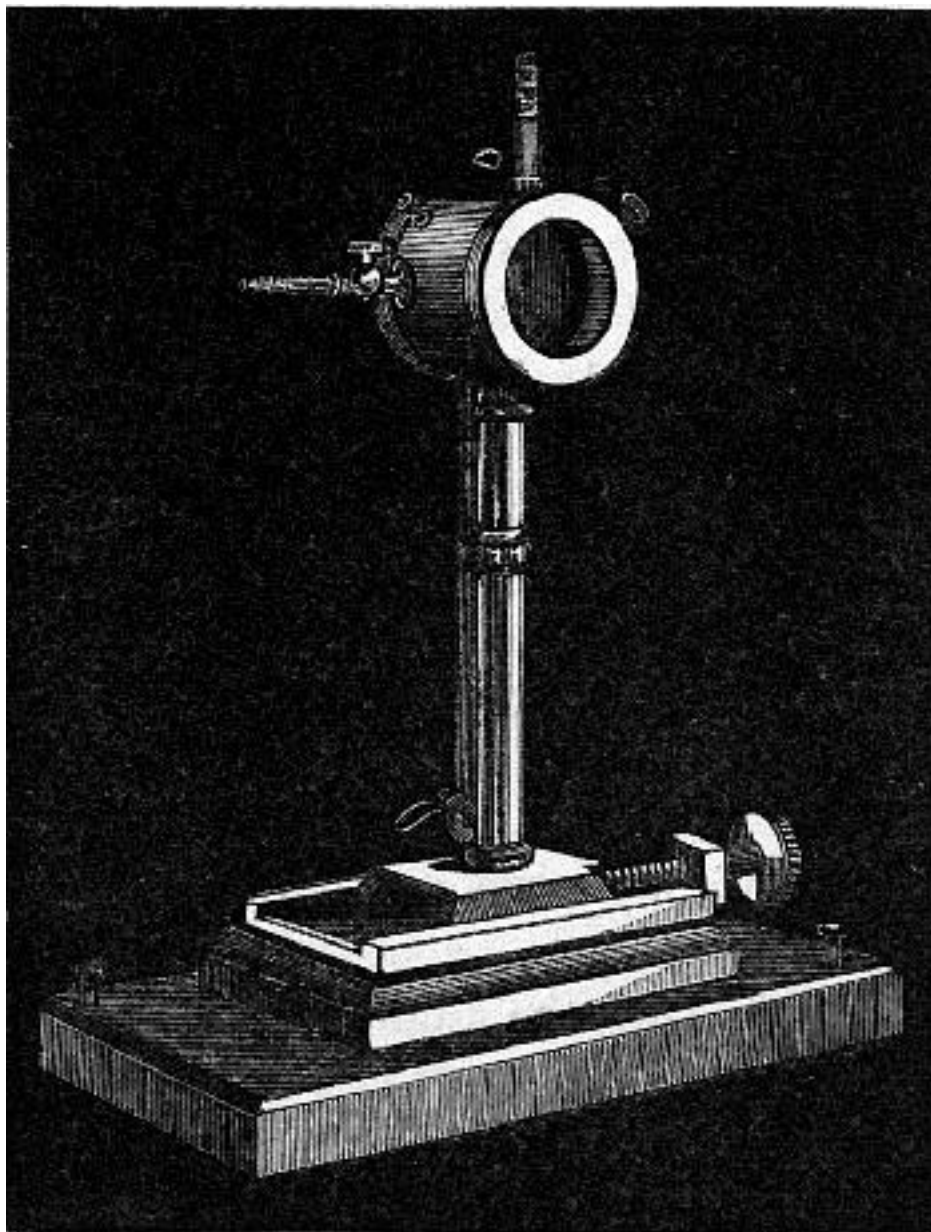


Рис. 4.Термоэлемент.

Принцип работы термоэлемента нам не нужно подробно описывать. Достаточно сказать, что нагрев паяных соединений двух разнородных металлов (в вышеупомянутом приборе имеется десять пар сурьмы и висмута) создает слабый электрический ток, которого, однако, достаточно, чтобы вызвать отклонение подвешенной стрелки тонкого гальванометра. К игле прикреплено зеркало весом в долю грана, и отклонения становятся видимыми благодаря отражению от него луча света, исходящего из фиксированной точки на шкале. Чем сильнее нагрев соединений термопары, в пределах, которые в этих случаях никогда не превышаются, тем больше вырабатываемый ток и, следовательно, тем больше отклонение стрелки, несущей зеркало, и луча света вдоль шкалы. Чтобы получить сравнительное измерение энергий различных лучей, необходимо, чтобы они были полностью поглощены. Сами места соединения ворса, являющиеся металлическими и, следовательно, более или менее яркими, не будут поглощать свет полностью, но если их покрыть тонким слоем черного цвета, падающие на ворс лучи будут

поглощаться этим веществом, и их поглощение вызовет повышение температуры в нем, и тепло будет передаваться термопайлу.

Если мы сделаем яркий спектр и не слишком длинный, скажем, три дюйма в длину, и пропустим линейный термоэлемент по всей его длине, мы обнаружим, что при подключении гальванометра стрелка гальванометра будет по-разному отклоняться в различных его частях. Отклонение будет почти незаметным в фиолетовом цвете, но ощутимым в синем, несколько больше в зеленом, еще больше в желтом, и оно еще больше усилится в красном. Однако, когда щель термоэлемента выходит за пределы видимого спектра, отклонение значительно увеличивается и будет увеличиваться до тех пор, пока не будет достигнуто положение настолько же ниже красного, насколько выше желтого. После достижения этого максимума, при перемещении стопки еще дальше от красного значения, стрелка гальванометра переместится к своему нулю, и, наконец, все отклонения прекратятся. На этом этапе мы можем предположить, что достигли предела спектра, но если использовать призмы и линзы из каменной соли, то предел будет увеличен. Каков реальный предел спектра, в настоящее время неизвестно; мистер Лэнгли со своим болометром и призмами из каменной соли, прибором более чувствительным, чем термоэлемент, должно быть, почти достиг его.

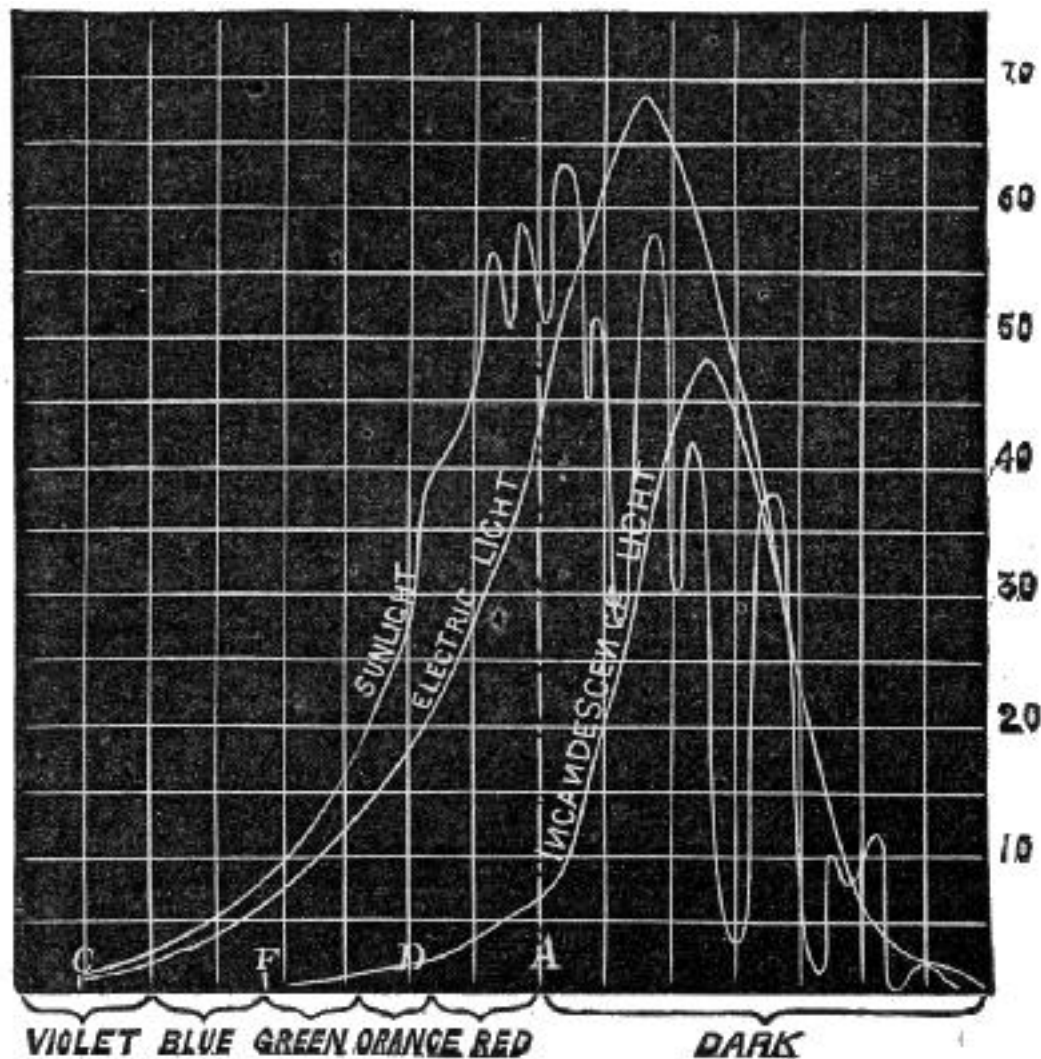


Рис. 5.

Нагревательный эффект различных источников излучения.

Приведенный выше рисунок представляет собой графическое представление эффекта нагрева спектра электрического света, солнечного света и электрического света накаливания на черном от лампы покрытия термоэлемента, как показано гальванометром. Четко обозначена огромная разница в нагревающем эффекте видимых лучей первых двух источников по сравнению с последним.

Поскольку каждый луч можно рассматривать как полностью поглощенный, нагрев сажи от лампы является мерой энергии или способности выполнять работу определенного типа, которой они обладают. Морские волны действуют, когда они бьются о берег, и они действуют, когда поднимают судно. Если мы заметим судно, стоящее на якоре, мы обнаружим, что позади судна и по направлению к берегу волны уменьшаются в высоте или амплитуде; энергия, которую они затратили на подъем судна, по необходимости вызывает это снижение. Точно так же волны света, падая на материю, молекулы или атомы которой колеблются в унисон с ними, разрушаются, и энергия тратится либо на разложение материи сначала в более простую форму — хотя последующая форма может быть более сложной — либо на повышение ее температуры. Поскольку ламповая сажа или углерод находятся в своей простейшей форме, единственная работа, производимая над ними энергией излучения, - это повышение их температуры, и именно по этой причине этот материал так превосходен для покрытия стыков ворса. Очевидно, что глаз не поглощает все лучи, поскольку видна только ограниченная часть спектра, и было бы бесполезно измерять нагревательный эффект лампово-черного цвета для видимой части спектра в качестве меры его яркости, поскольку последняя гаснет в красной зоне — том самом месте, где кривая нагрева быстро повышается.

ГЛАВА IV.

Описание устройства для изменения цвета—Вращающиеся секторы—Метод создания шкалы для спектра.

Прежде чем продолжить, мы должны несколько подробно описать два или три устройства, которые будут использоваться в экспериментах, которые мы проведем.

Первая часть была разработана автором несколько лет назад и избавила от нескольких возражений, которые существовали в старых аппаратах. Это полезно не только для лекционных целей, но и для тщательной лабораторной работы. Обычный лекционный аппарат для отображения спектра на экране имеет слишком грубую форму, чтобы быть эффективным для поставленной нами цели; чистота цветов, видимых на экране, более чем сомнительна, и уже одно это делает его непригодным для наших экспериментов. Если мы хотим сформировать чистый спектр, у нас должны быть узкая щель, призмы с правильными плоскими поверхностями и линзы правильной кривизны. Как правило, в обычном лекционном аппарате для формирования спектра отсутствуют все эти требования.

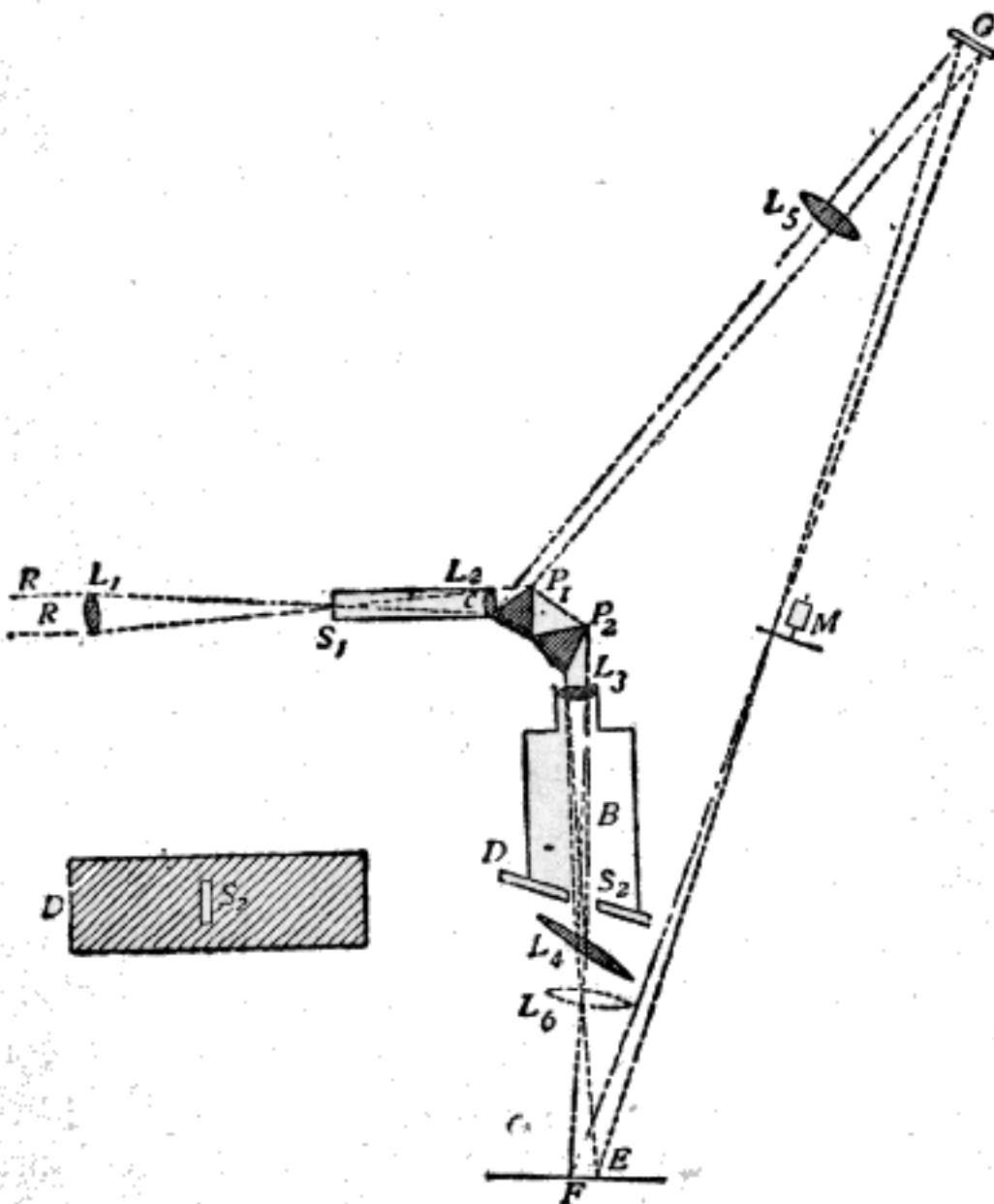


Рис. 6. Устройство для

нанесения цветных пятен.

Прилагаемая схема (рис. 6) даст представление об устройстве, которое мы будем использовать. На обычную щель S_1 коллиматора C с помощью конденсирующей линзы L_1 направляется луч света, который исходит от сильно раскаленного добела углеродного положительного полюса электрического источника света. Фокус отрегулирован таким образом, что на щели формируется изображение кратера. Коллимирующая линза L_2 заполняется этим лучом, и лучи выходят параллельно друг другу и падают на призмы P_1 и P_2 , которые их рассеивают. Рассеянный луч падает на исправленный фотографический объектив L_3 , прикрепленный к фотоаппарату обычным способом. Его диаметр немного больше высоты призм, и спектр формируется на фокусирующем экране D , который повернут под небольшим углом к перпендикуляру оси линзы L_3 . Это необходимо, потому что фокус наименее преломляемых или красных лучей длиннее, чем фокус более преломляемых или синих лучей. Поворачивая фокусирующий экран, как показано на рисунке, можно получить очень хорошую общую

фокусировку для каждого луча. Когда фокусирующий экран снимается, лучи образуют беспорядочное пятно разноцветного света на белом экране F, расположенном примерно в четырех футах от камеры. Лучи, однако, могут собираться линзой L_4 с фокусным расстоянием около двух футов, расположенной рядом с положением фокусирующего экрана и слегка смещенной вбок. Это формирует на экране изображение ближней поверхности последней призмы P_2 ; и при правильной настройке прямоугольное пятно света должно быть чистым и без каких-либо цветных полос. Карточка D вставляется в пазы, в которые обычно вставляется темный слайд. В нем будет видна щель S_2 , назначение которой будет объяснено позже.

Обычно нам требуется второе пятно белого света, с которым можно сравнить первое пятно. Теперь, хотя свет от положительного полюса атомов углерода однороден по качеству, иногда он различается по количеству, поскольку трудно постоянно удерживать его изображение точно в центре щели. Если мы сможем взять одну часть света, проходящего через щель, для формирования спектра, а другую часть - для формирования второго пятна белого света, то яркость обоих будет изменяться вместе. На первый взгляд это может показаться труднодостижимым; но преимущество заключается в том, что от первой поверхности первой призмы P_1 отражается определенное количество света. Поместив линзу L_5 и зеркало G на пути этого отраженного луча, можно отбросить другое квадратное пятно света на тот же экран, что и первое, и это второе пятно может быть выполнено того же размера, что и первое пятно, если линза L_5 имеет подходящий фокус, и при необходимости его можно наложить поверх первого пятна; или, что полезно в некоторых случаях, два пятна могут быть размещены рядом, просто касаясь друг друга.

Таким образом, мы можем получить два квадратных белых пятна на экране F, одно из которых является результатом повторного сочетания спектра, а другое - от отраженного луча. Если поместить стержень на пути этих двух лучей, когда они накладываются друг на друга, каждый луч будет отбрасывать тень стержня на экран. Тень, отбрасываемая интегрированным спектром, будет освещена отраженным лучом, а тень, отбрасываемая последним, будет освещена первым. На самом деле у нас есть обычный фотометр Румфорда, и две тени могут касаться друг друга при перемещении стержня к экрану или от него. Когда освещенность двух теней белым светом одинакова, все должно выглядеть как *одно* сплошное серое пятно. Чтобы не создавать путаницы для глаз, на экран F помещается черная маска с вырезанным в ней квадратным отверстием, на которое падают две тени. Если требуется уменьшить яркость любого пятна, это может быть достигнуто путем введения вращающихся секторов M, которые могут открываться и закрываться по желанию во время вращения на пути одного или другого из лучей.

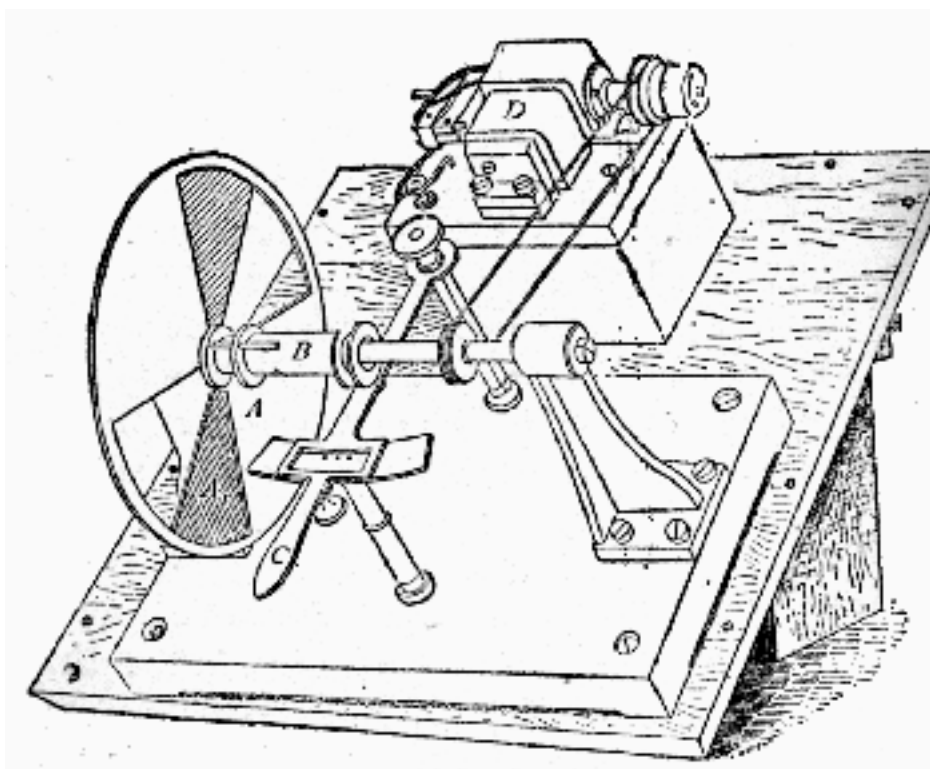


Рис. 7. Вращающиеся секторы.

Прилагаемый рисунок (рис. 7) представляет собой вид прибора с высоты птичьего полета. Аа представляют собой два сектора, один из которых способен закрывать открытое отверстие с помощью рычажного устройства С, которое перемещает втулку, в которой закреплен штифт, работающий в винтовой канавке, что позволяет открывать и закрывать отверстия в секторах по своему усмотрению во время их вращения; D - электродвигатель, заставляющий секторы вращаться. Чтобы показать его эффективность, если две полосы бумаги, одна из которых покрыта лампово-черным, а другая белым, поместить рядом на экране, и если одна тень от стержня падает на белую полосу, а другая тень - на черную полосу бумаги, и вращающиеся секторы будут расположены на пути света, освещающего тень, отбрасываемую на белую полосу, отверстия секторов можно закрывать до тех пор, пока белая бумага не будет казаться абсолютно черной. Белый, таким образом, становится темнее, чем лампово-черный, из-за недостатка освещения. Это интересный эксперимент, и мы увидим, к чему он приводит, поскольку он показывает, что даже лампово-черный цвет отражает определенное количество белого или другого света.

Объяснив таким образом основную часть устройства, с которым мы будем работать, мы можем продолжить и показать, как на экране может быть получен монохроматический свет любой степени чистоты. Если через щель в картонном слайде D пропустить спектр, когда он был сфокусирован на фокусирующем экране, на экран попадет только одна маленькая полоска практически монохроматического света, и вместо белого пятна на экране мы увидим последовательность цветных пятен, цвет которых меняется в зависимости от положения, которое занимает щель в спектре. Следует отметить, что чистота цвета зависит от двух факторов — узости щели S_1 коллиматора и щели s_2 в карточке. Если в карточке D прорезать две щели, мы получим два цветных пятна, накладывающихся друг на друга, и если отраженный луч падает на одно и то же пространство, мы получим смесь цветного света с белым светом, и яркость либо цветного, либо белого света можно уменьшить путем введения вращающихся секторов. Если

стержень поместить на пути лучей, мы получим две отбрасываемые тени, одну, освещенную цветным светом, монохроматическим или составным, а другую - белым светом, и они могут быть расположены рядом и окружены черной маской, как описано выше.



Рис. 8. Спектр натрия, лития и углерода.

Есть еще одна часть устройства, о которой можно упомянуть, и это индикатор, который сообщает нам, какая часть спектра проходит через щель. Сразу за камерой, на одной линии с экраном фокусировки, находится зажим с вертикальной иглой. Небольшой луч света проходит за пределы призмы P_1 ; он отражается зеркалом, прикрепленным сбоку устройства, и отбрасывает тень от иглы на обратную сторону карточки D, на которой нанесен тщательно разделенный масштаб в двадцатые доли дюйма. Чтобы зафиксировать положение щели, полюса электрического фонаря смазывают раствором карбонатов натрия и лития в соляной кислоте, и на щель наносится изображение дуги. Это позволяет избавиться от непрерывного спектра, и на фокусирующем экране появляются только яркие линии, обусловленные парами накаливания (рис. 8). Среди других линий у нас есть красная и синяя линии, обусловленные парами лития; оранжевая, желтая (D) и зеленая линии натрия, а также фиолетовые линии кальция (последние из-за примесей углерода, образующих полюса). Эти линии последовательно ложатся на центр щели путем перемещения карты D, которая в данный момент закрыта куском матового стекла, и положение тени от острия иглы на шкале регистрируется для каждой из них. Дальнейшую проверку можно произвести, сфотографировав эти линии или солнечный спектр и точно зафиксировав на шкале любую из этих уже названных линий, положение остальных на шкале можно определить путем измерения по фотографии. Теперь длины волн этих ярких линий были установлены наиболее точно, фактически так же точно, как и темные линии в солнечном спектре. Таким образом, шкала на карточке является средством локализации цвета, проходящего через щель или прорези. Если в спектре используется более одной щели, то положение каждой из них может быть определено точно таким же способом.

Самая утомительная часть всей экспериментальной схемы с этим прибором - это то, что можно назвать масштабированием спектра.

На экране может быть сформирован довольно широкий спектр без изменения какого-либо расположения устройства, когда оно настроено на формирование цветowych пятен. Если линза l_6 (см.рис. 6) с коротким фокусом будет помещен перед L_4 (большой комбинирующей линзой), увеличенный спектр будет отброшен на экран F, и если в спектре будут размещены щели, изображения их апертур будут сформированы соответствующими цветными лучами, проходящими через них, так что цвета, которые объединены в пятне, могут быть видны сразу.

ГЛАВА V.

Поглощение спектра—Анализ цвета—Колебания лучей—Поглощение пигментами—Фосфоресценция—Интерференция.

Теперь мы должны кратко рассмотреть, каково происхождение или, по крайней мере, причина цвета, который мы видим у предметов. Ни в коем случае не предлагается подробно останавливаться на этом, но только настолько, чтобы мы могли понять предмет, который будет представлен вам. В чем, например, причина цвета этого зеленого раствора хлорофилла, который представляет собой экстракт капустных листьев? Если мы поместим его перед спектральным прибором и выведем спектр на экран, мы обнаружим, что, хотя пропускается определенное количество синего, зеленый цвет сильный, и остаются красные полосы, но значительная часть спектра полностью поглощается. Формируя цветное пятно этого спектра поглощения на экране, мы видим, что оно того же цвета, что и раствор хлорофилла, и об этом мы можем судить более точно, используя отраженный луч и расположив стержень так, чтобы отбрасывать тени. (Свет отраженного луча - это свет, попадающий в щель.) Таким образом, цвет хлорофилла обусловлен отсутствием определенных цветов в спектре белого света. Когда через него проходит белый свет, материал поглощает или отфильтровывает некоторые цветные лучи и позволяет другим проходить более или менее незатронутыми, и именно повторное сочетание этих последних определяет цвет хлорофилла. У нас есть зеленый краситель, который на глаз очень похож по цвету на хлорофилл, но, поместив его раствор перед спектром, мы видим, что он отсекает различные лучи от последнего. Вполне возможно было бы перепутать один зеленый цвет с другим, но непосредственно анализируя белый свет, который просочился через каждый из них с помощью спектра, мы сразу видим, что они различаются. Следовательно, спектр позволяет глазу различать с помощью анализа то, что в противном случае он был бы неспособен сделать. Любой окрашенный раствор или прозрачное тело может быть проанализировано таким же образом, и, как мы увидим впоследствии, интенсивность каждого луча после прохождения через него может быть точно сравнена с исходным падающим светом. В некоторых случаях, даже в большинстве случаев, цвет, передаваемый через материал небольшой толщины, отличается от цвета, передаваемого через материал большей толщины.

Например, слабый раствор лакмусовой бумажки в воде имеет синий цвет при исследовании тонкого слоя и красный, когда это более толстый или концентрированный слой. Бихромат калия становится более красноватым по мере увеличения толщины. Это легко понять, обратившись к закону поглощения. Предположим, что у нас есть тонкий слой жидкости, который придает фиолетовый цвет, когда через него проходят два простых цвета, красный и синий, и что этот тонкий слой отсекает четверть красного и половину синего, попадающих на него, другой слой равной толщины отсечет еще четверть трех четвертей красного, проходящего через первый слой, и половину оставшейся половины синего; таким образом, у нас останется девять шестнадцатых красного, проходящего через него, и только четверть синего. При нанесении третьего слоя у нас останется двадцать семь шестидесяти четвертых красного и только одна восьмая синего, что показывает, что по мере увеличения толщины жидкости синий цвет быстро исчезает, оставляя доминирующим красный. Теперь то, что верно для двух простых цветов, в равной степени верно для любого из них, где скорости поглощения отличаются друг от друга, и то, что верно для раствора, верно и для прозрачного твердого вещества. В некоторых непрозрачных телах, таких как горные породы, отраженный цвет часто незначительно отличается от цвета того же самого, когда они разрезаны на тонкие и отполированные ломтики, через которые может проходить свет. Причина в том, что при непрозрачности свет проникает через поверхность на очень небольшое расстояние и отражается обратно, в то время как в этих слоях цвету приходится пробиваться через более окрашенную материю, и он приобретает другой оттенок.

Вопрос, почему вещества пропускают одни лучи и гасят другие, приводит нас в область молекулярной физики. Из всех разделов физической науки этот, возможно, самый увлекательный и самый умозрительный, но все же он строится на прочных основах эксперимента и математики, пока не достигнет важности, которую полностью оправдывают вопросы, зависящие от него. В рассматриваемом случае мы должны представить себе молекулы и составляющие их атомы такого размера, который невозможно разглядеть ни в один микроскоп, вибрирующие с определенными периодами, подобными периодам колебаний световых волн. На странице 26 мы привели длины некоторых волн, которые создают ощущение цветного света. Теперь, поскольку свет, какого бы цвета он ни был, практически с одинаковой скоростью распространяется по воздуху, который повсюду имеет одинаковую плотность, отсюда следует, что число колебаний каждого луча в секунду может быть получено путем деления скорости света в любой среде на длину волны. В следующей таблице приведено приблизительное количество колебаний эфира в секунду, порождающих цвета, фиксируемые темными солнечными линиями.

Название линии.	Миллионы миллионов колебаний в секунду.
A красным	395
B " "	437
C " "	458
D " Оранжевым	510
E "Зеленым	570
F" Синим	618
G "Фиолетовым	697

Если мы попытаемся оценить, что означает эта частота колебаний, мы едва ли сможем осознать это, даже путем сравнения с какой-либо физически измеримой частотой вибрации. Камертон, например, дающий среднее значение "До", вибрирует 528 раз в секунду. Сравните это с числом колебаний световых волн, и мы все еще так же далеки от осознания этого, как и прежде, однако скорость света и длины различных волн были точно определены; последнее, хотя и намного меньшее количество, с еще большей точностью, чем первое. Следовательно, эти уровни вибрации должны быть — не могут не быть — во всяком случае, приблизительно верными. Поскольку это так, мы знаем, что по крайней мере некоторые атомы молекул и, возможно, в некоторых случаях сами молекулы вибрируют с той же скоростью, что и те световые волны, которым они отказываются пропускать. Если мы видим, что детские качели начинают раскачиваться, мы знаем, что только благодаря своевременным ударам сила раскачивания постоянно увеличивается, и энергия, затрачиваемая человеком, наносящим своевременный удар, расходуется на создание увеличенной амплитуды. Точно так же, если скорость колебаний световой волны соответствует скорости колебаний молекулы или атома, амплитуда или колебание атома или молекулы увеличивается, а энергия волны и, следовательно, ее амплитуда полностью или частично разрушаются; а поскольку амплитуда зависит от интенсивности света, луч вообще не виден или же его яркость уменьшается.

Каким образом атомы вибрируют там, где поглощается более одного луча, все еще остается предметом предположений, но, без сомнения, по мере более полного развития экспериментальных методов и изучения математиками результатов таких экспериментов мы сможем составить представление о самих колебаниях. На странице 137 выдвигается предположение о причине, по которой твердые тела или жидкости могут поглощать больше волн света, чем те, которые находятся рядом друг с другом, но оно не касается поглощений, которые занимают различные части спектра. Опять же, мы также имеем дело с фактом, что энергия, поглощаемая этими атомами и молекулами из волн света, должна проявляться как работа, производимая над ними, — это может быть тепло или химическое воздействие. Со временем мы увидим, что в некоторых случаях, без сомнения, по крайней мере часть затрачивается на последнюю форму работы.

Возможно, такой подход к вопросу о цвете предметов может сделать тему более интересной для читателя, чем она того заслуживает, как кажется на первый взгляд. Весь этот предмет расширяет способность создавать мысленные картины, и это одна из наиболее полезных форм научного образования.

Но как мы можем отличить пигменты, которые на глаз кажутся одними и теми же? Если мы покрасим бумагу упомянутым зеленым красителем, мы сможем поместить его в спектр, и мы увидим, что краситель отражает не так, как белая бумага. На самом деле мы обнаружим, что он отказывается отражать в тех частях спектра, которые отказался передавать прозрачный раствор. Пока свет проходит через красящее вещество, в отношении получаемого цвета безразлично, находится ли красящее вещество на расстоянии от бумаги или же последняя окрашена им, как мы можем видеть сразу. Если мы поместим раствор красителя в отраженный луч устройства и сформируем пятно на экране, а также направим пятно белого света из интегрированного или рекомбинированного спектра на окрашенную бумагу, будет обнаружено, что два цвета одинаковы; то есть зеленый свет на белой бумаге или белый свет на зеленой

бумаге - это одно и то же. Аналогичным образом мы можем поэкспериментировать с другими красителями, такими как пурпурный, бревенчатый и т.д., и мы увидим, что получаются аналогичные результаты. Однако следует сказать, что при окрашивании бумаги красящим веществом от поверхности самой бумаги будет отражаться *небольшое количество* белого света. Теперь мы можем сказать, что общий цвет придается телу его отказом более или менее полно пропускать или отражать определенные лучи спектра. Если растворитель образует соединение с красителем, возможно, это было бы не совсем верно, но в подавляющем большинстве случаев утверждение верно. Когда у нас есть тела, которые также являются флуоресцентными, это утверждение также пришлось бы изменить, но пока нам нет необходимости рассматривать их.

Другой источник цвета предметов, хотя и встречающийся очень редко, и который для нашего объекта нам нет необходимости подробно объяснять, - это интерференция света. Это видно на мыльных пузырях. Вкратце можно сказать, что цвета обусловлены лучами света, отраженными от внутренней поверхности пленки, которые гасят другие лучи света той же длины волны, отраженные от внешней поверхности. Если две серии волн одинаковой длины идут в одном и том же направлении и от одного и того же источника, каждая из которых имеет ту же интенсивность, что и другая, то есть имеет ту же амплитуду, и случается, что одна серия отстает от другой ровно на половину длины волны, то гребень одной волны в первой серии заполнит впадину другой во второй серии, и никакого движения не возникнет, и это отсутствие движения означает темноту, поскольку именно волновое движение создает ощущение света. Если, таким образом, у нас есть белый свет, падающий на две отражающие поверхности, такие как передняя и задняя части мыльной пленки, часть света будет отражаться от каждой, и если пленка будет такой толщины, что последняя отражает свет ровно на $\frac{1}{2}$ длины волны, $\frac{3}{2}$ или $\frac{5}{2}$ длины волны и т.д. Какого-либо цвета позади первой, цвет, обусловленный этой конкретной длиной волны, будет отсутствовать в отраженном белом свете, и вместо белого света мы получим цветной свет, обусловленный сочетанием всех цветов, за исключением этого цвета, который гаснет.

Очень интересный эксперимент - вывести изображение пленки с мылом на экран и понаблюдать за изменением цвета пленки. Их яркость увеличивается по мере того, как пленка становится тоньше, и полосы, которые сначала кажутся расположенными близко друг к другу, разделяются, а затем мы видим большое пространство меняющегося цвета. Мыльный раствор следует приготовить практически по любой из опубликованных формул, окунуть в него кусок плоской открытки, и провести по проволочному кольцу диаметром около дюйма или — что автор предпочитает больше всего — по упору фотографического объектива. Образуется пленка, которая заполнит отверстие. Кольцо или ограничитель можно поместить вертикально в зажим, а луч света направить на пленку под углом около 45 градусов. Если на пути отраженного луча поместить линзу для формирования изображения диафрагмы, цвета, которые показывает пленка, могут быть показаны аудитории, если диаметр изображения составляет четыре или пять футов. Вместо этого большого изображения на щель спектроскопа может быть отброшено маленькое изображение, если использовать линзу с большим фокусным расстоянием, и если луч направить так, чтобы он падал на ось коллиматора, на экран также может быть отброшен очень яркий спектр. Внешний вид спектра примерно такой, как показано на приведенной выше диаграмме (рис. 9).

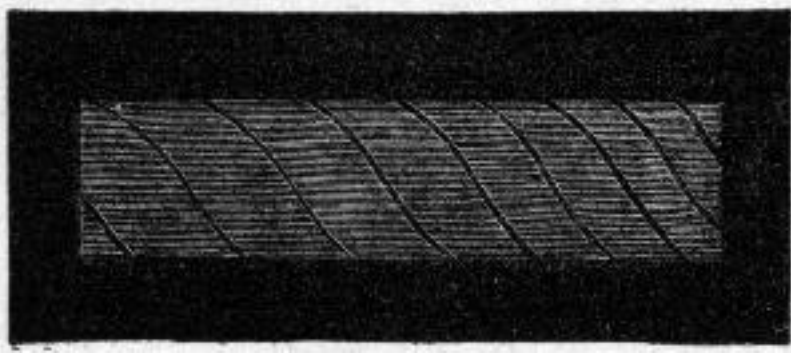


Рис. 9. Интерференционные полосы.

Если мы проведем горизонтальную линию поперек спектра, мы увидим, каких конкретных цветов не хватает в отраженном свете, который падает на часть щели, соответствующую этой линии. Цвета некоторых объектов, таких как опал, и прекрасная окраска некоторых перьев обусловлены интерференцией света. Частичное рассеяние различных лучей мелкими частицами также приводит к окрашиванию света, как мы увидим в экспериментах, которые мы проведем для имитации цвета солнечного света на различных высотах солнца. Мы можем, однако, принять за правило, что цвет объектов определяется большим или меньшим поглощением некоторых лучей и отражением в случае непрозрачных тел или пропусканием остальной части лучей в случае прозрачных тел.

ГЛАВА VI.

Рассеянный свет—Цвета заката—Закон рассеяния мелкими частицами—Облака на закате—Яркость солнечного света на разных высотах от Солнца.

Вероятно, мы смогли бы приблизительно определить истинный цвет солнечного света (если можно говорить о цвете белого света), если бы смогли собрать весь свет с безоблачного неба и сконцентрировать его в солнечном пятне, падающем на экран. В конце концов, световой люк - это лишь часть солнечного света, рассеянного мелкими частицами в атмосфере, часть света рассеивается в космосе, а часть - на нашей земле. Маленькие частицы воды и пыли — а когда мы говорим "маленькие", мы имеем в виду "маленькие", измеряемые в том же масштабе, в каком мы измеряем длину световых волн, — различают волны разной длины и рассеивают синие лучи сильнее, чем зеленые, а зеленые - больше, чем красные; следовательно, то, чего солнцу не хватает в синем и зеленом, можно найти в небесном свете. Эффект, который оказывают мелкие частицы воды на проходящий через них свет, можно очень хорошо увидеть на улицах Лондона ночью, когда атмосфера совсем не затянута туманом. Газовые фонари в дальнем конце улицы кажутся рубиново-красными и тусклыми, а на полпути вниз только оранжевыми, но ярче, в то время как вблизи они обычного желтого цвета и нормальной яркости. Когда тумана нет, газовые фонари вдалеке и вблизи имеют одинаковый цвет и яркость, что показывает, что изменение их внешнего вида происходит просто из-за туманной атмосферы, находящейся между ними и наблюдателем. Мы можем очень совершенным образом имитировать солнечный свет после его

прохождения через различные слои атмосферы в лекционном зале, используя электрический свет в качестве источника. Перед лампой помещается конденсаторная линза, а перед ней круглое отверстие в пластине. За этим снова находится объектив, который выводит на экран увеличенное изображение диафрагмы, которое мы можем назвать нашим макетом солнца. Если мы поместим стеклянный желоб, в котором находится разбавленный раствор гипосульфита соды, тщательно отфильтрованный от пылинок, насколько это возможно, перед отверстием, мы получим изображение отверстия, не затронутого введением раствора. Белый диск на экране, как мы уже говорили ранее, будет очень похож на солнечный свет в майский день около полудня, когда небо чистое. Если капнуть в корыто немного разбавленной соляной кислоты, можно обнаружить, что свет ложного солнца меняется: бледно-желтый цвет распространяется по его поверхности, сменяясь оранжевым оттенком, и в то же время его яркость уменьшается. Постепенно оранжевый цвет уступит место красному, яркость будет очень маленькой и будет того же оттенка, что и у солнца, если смотреть на него сквозь лондонский туман. Наконец, последний след красного настолько смешается с рассеянным белым светом, что изображение исчезнет, и тогда эксперимент окончен.

Если мы проследим причину такого изменения цвета на нашем искусственном солнце, то обнаружим, что это происходит из-за выделения мельчайших частиц серы из раствора гипосульфита, и чем больше времени пройдет, тем более мутным станет разбавленный раствор. Этот эксперимент иллюстрирует действие мелких частиц на свет. Исследуя желоб, можно обнаружить, что, хотя свет, который проходит *через раствор*, в основном теряет голубые лучи, свет, который рассеивается по бокам, имеет почти лазурно-голубой оттенок и его вполне можно сравнить со светом с неба. Мы можем очень легко анализировать проходящий свет, фокусируя луч от положительного полюса электрического источника света на щель нашего цветового прибора и устанавливая линзу L_6 (рис. 6) в положение для формирования большого спектра на экране. Мы также можем показать цвет света, который формирует спектр, направив луч света, отраженный от первой поверхности первой призмы, прямо над ней. Таким образом, у нас есть спектр и свет, образующий этот спектр, для сравнения друг с другом. Используя этот прибор и помещая в луч желоб с разбавленным гипосульфитом, спектр имеет характер, обычно наблюдаемый при электрическом освещении; но при капании разбавленной соляной кислоты в раствор на щель спектроסקопа попадают те же оттенки, которые падали на экран, образуя имитацию солнца, и видно, что спектр меняется по мере того, как свет меняется с белого на желтый и с желтого на красный. Сначала исчезнет фиолетовый, при этом потускнеют синий и зеленый, однако первые будут самыми тусклыми; затем синий исчезнет для глаза, зеленый станет еще менее ярким, а желтый также поблекнет; зеленый и желтый будут последовательно исчезать, оставляя, наконец, на экране только красную полосу, которая будет почти соответствовать цвету неанализируемого света, как можно увидеть, сравнив его с соседним пятном, образованным отраженным лучом.

Здесь мы имеем доказательство того, что последовательность явлений вызвана рассеянием более коротких световых волн, и что чем короче волны, тем сильнее они рассеиваются. Теоретически лордом Рэлеем было обнаружено, что рассеяние происходит обратно пропорционально четвертой степени длины волны; таким образом, если две длины волн, которые могут быть зелеными и фиолетовыми, находятся в соотношении три к четырем, первые будут рассеяны как $1/3^4$ к $1/4^4$, или как 256 к 81, что примерно равно трем к одному. Следовательно, если зеленый цвет, проходя через определенную толщину мутной среды, теряет половину, то фиолетовый, проходя через ту же толщину, потеряет пять шестых своей

яркости. Обратные четвертые степени следующих длин волн, которые находятся в пределах всего видимого спектра, показаны ниже.

λ	7000	6000	5000	4000
$1/\lambda^4$	1	·504	·260	·107

Предположим, что $\lambda 7000$ из-за рассеяния мелких частиц теряет одну десятую своей яркости, тогда $\lambda 6000$ будет иметь · 454 от своей первоначальной яркости; $\lambda 5000$, · 234; и $\lambda 4000$, · 095; то есть, в то время как $\lambda 7000$ потеряет только одну десятую своей яркости, $\lambda 4000$ в фиолетовом цвете сохранит не совсем одну сотую своей яркости.

В течение 1885, 1886 и 1887 годов автор измерял яркость солнечного спектра в разное время года и в разные часы суток (см. *Фил. Пер.* 1887: "Пропускание солнечного света через атмосферу Земли"), и из результатов он обнаружил, что наименьший коэффициент рассеяния для одной атмосферы на уровне моря для каждой длины волны составлял · 0013, когда λ^{-4} было для удобства умножено на 101^7 (таким образом, $\lambda 6000^{-4}$ в этой шкале составляло $77 \cdot 2$), и что среднее значение было · 0017.

Лини я.	Длин а волн ы.	$1/\lambda^4$ × 101^7	Свет после прохождения через атмосферы следующих толщин.									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	32
A	7594	30	1	·955	·908	·857	·815	·775	·736	·707	·665	·107
B	6867	45	1	·926	·858	·795	·735	·684	·632	·583	·542	·086
C	6562	54	1	·912	·832	·759	·693	·632	·576	·526	·480	·019
D	5892	83	1	·868	·754	·655	·569	·494	·428	·372	·323	·001
E	5269	129	1	·803	·644	·518	·427	·334	·268	·216	·173	—
F	4861	179	1	·738	·544	·402	·296	·219	·161	·119	·088	—
G	4307	291	1	·609	·367	·220	·137	·084	·051	·031	·019	—
H	3968	403	1	·506	·254	·128	·071	·033	·016	·008	·004	—

В следующей таблице показаны потери света для лучей, обозначенных основными линиями, приведенными на странице 26, с использованием этого последнего коэффициента для различных толщин воздуха. Это эквивалентно определению интенсивности солнечных лучей, когда солнце находится на разных высотах.

Солнце проходит следующие слои атмосферы, когда оно находится под указанными углами над горизонтом.

1	атмосфера	90°
2	"	30°
3	"	19°

4	"	14·30
5	"	11·30
6	"	9·30
7	"	8·30
8	"	7·30

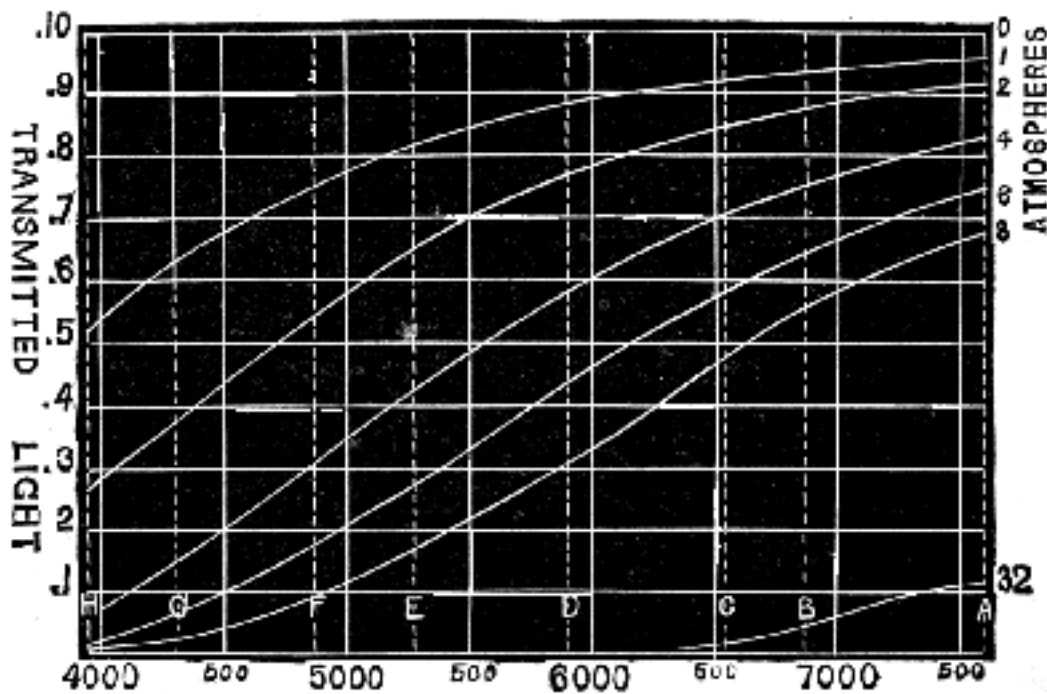


Рис. 10. Поглощение

лучей атмосферой.

При очень близком затухании он преодолевает тридцать две атмосферы. Бужье и Форбс подсчитали, что предельная толщина

атмосфера, через которую проходит его свет, когда солнце находится над горизонтом, составляет примерно $35\frac{1}{2}$ атмосферы. Следовательно, поглощение, показанное в 32 атмосферах, будет очень близко к тому, которое наблюдалось бы на закате в обычный день, и будет видно, что практически все лучи были рассеяны от света, за исключением красного и небольшого количества оранжевого.

Что касается яркости солнца на этих разных высотах, мы можем легко найти ее, уменьшив кривую яркости солнца на некоторой известной высоте на коэффициенты, приведенные в только что приведенной таблице, для любого количества длин волн, сколько нам заблагорассудится, и таким образом построить другую кривую. Площадь полученного таким образом рисунка будет мерой общей яркости в том же масштабе, что и площадь кривой яркости, по которой она была получена.

Ниже приведены приблизительные значения яркости солнца, когда оно светит

через	0	атмосфер	1
"	1	"	·840

"	2	"	·705
"	3	"	·594
"	4	"	·496
"	5	"	·417
"	6	"	·303
"	7	"	·256
"	8	"	·215
	32	"	·002

Таким образом, будет видно, что солнце на закате в 420 раз менее яркое, чем если бы оно светило прямо над головой, и примерно в 350 раз ярче, чем зимнее солнце на безоблачном небе без тумана в двенадцать часов, поскольку высота солнца на нашей широте в это время составляет около 30 ° и соответствует толщине в две атмосферы, через которую солнце должно светить. Все мы знаем, что от взгляда на солнце в любое время ближе к полудню на безоблачном небе рябит в глазах, но ближе к закату на него можно смотреть безнаказанно. Уменьшение яркости объясняет этот факт.

Распределение рассеивающих частиц в атмосфере очень далеко от регулярного. По мере того как мы поднимаемся, частицы становятся более разреженными, о чем свидетельствует меньшее рассеяние синих лучей по сравнению с красными. Таким образом, на высоте около 8000 футов средний коэффициент рассеяния составляет около ·0003, вместо ·0017, как на уровне моря. Следует помнить, что над нами на высоте 8000 футов находится всего около трех четвертей воздуха, и он менее плотный. Следовательно, количество частиц уменьшится не только из-за того, что будет меньше воздуха, но и потому, что сам воздух в меньшей степени способен удерживать их во взвешенном состоянии. На высоте 3000 или 4000 футов нет очень большой заметной разницы в рассеянии света, как показали наблюдения, проводившиеся в течение пяти лет; но выше этого рассеяние быстро уменьшается, и на высоте 20 000 футов оно, должно быть, действительно очень мало, если уменьшение увеличивается так быстро, как было обнаружено на высоте 8000 футов.

Мы должны еще раз повторить, что голубизна неба в основном, если не полностью, обусловлена присутствием этих частиц, рассеиваемые ими лучи, которые в основном являются голубыми лучами, отражаются от них обратно, создавая ощущение голубизны, которое мы знаем как небесно-голубое. Чем больше количество этих мелких частиц, с которыми сталкивается солнечный свет, тем сильнее будет рассеяние и тем голубее небо. Более чем вероятно, что голубое небо Италии, вошедшее в поговорку за свою красоту, объясняется именно этой причиной, поскольку, учитывая ее географическое положение, мелких частиц воды там должно быть очень много.

Развивая этот аргумент дальше, мы должны ожидать, что по мере того, как мы поднимаемся выше, синий цвет будет более полно смешиваться с темнотой космоса, и это подтвердят вам альпийские путешественники. На высоте 12 000 футов и более в ясный день небо кажется почти черным, и нет ничего необычного в том, что это превосходно передано на фотографиях

альпийских пейзажей, сделанных на высоте. Многие фотографии покойного мистера Донкина демонстрируют это в совершенстве, как и фотографии синьора Селлы.

Прежде чем закончить с этой темой, мы можем обратить внимание не только на цвет самого солнца на закате, но и на цвет неба, который сопровождает заход солнца. Эта окраска часто отличается от цвета, который принимает само солнце; но мы можем легко показать, что столь удивительно красивые эффекты полностью зависят от рассеяния света этими маленькими частицами в воздухе. Мы часто видим красноватое солнце и, возможно, почти в зените или даже дальше от солнца облака красивого малинового оттенка, лежащие на небе, которое кажется почти зеленым, в то время как ближе к солнцу небо ярко-оранжевого цвета, который художники имитируют кадмиево-желтым. Давайте сначала сосредоточим наше внимание на багровом облаке. Облака, окраска которых столь великолепна, часто находятся не на высоте 1000 футов над нами, и если бы мы находились на такой высоте, мы увидели бы солнце не таким красноватым, каким мы видим его с земли, и, следовательно, облако было бы освещено солнцем с более оранжевым оттенком; но свет, отраженный от облака к нашим глазам, должен проходить, скажем, через 1000 футов плотной атмосферы, и, таким образом, общая атмосфера, которую свет пересекает в последнем случае, всегда больше, чем толщина воздуха, через которую должен проходить прямой свет от солнца; следовательно, больше оранжевого отсекается, и наши глаза видят облака. свет, отраженный от облака, становится краснее. Этот красный цвет, однако, не объясняет ярко-малиновый и пурпурный оттенки, которые мы так часто видим. Следует помнить, что не только солнечный свет освещает облака, но и голубой свет неба. Чем слабее интенсивность красного, тем сильнее будет ощущаться небесная синева в смеси света, достигающей наших глаз, и, следовательно, мы можем получить любой оттенок, от малинового до фиолетового, поскольку красный и синий составляют эти оттенки в соответствии с пропорциями, в которых они смешаны.

Теперь давайте посмотрим, как мы получаем ярко-оранжевый цвет самого неба. Когда вечер совершенно ясный и без тумана и облаков, оранжевый цвет на небе очень слабый, показывая, что интенсивность зависит от их присутствия. Теперь, взглянув на таблицу, вы увидите, что солнце находится очень близко к горизонту, когда оно становится красноватым при нормальных условиях; но когда свет проходит толщу в восемь атмосфер, синий и фиолетовый, а также большая часть зеленого отсутствуют, оставляя свет желтоватого цвета. Чтобы преодолеть восемь атмосфер, свет должен исходить только из точки примерно в восьми градусах над горизонтом. Когда солнце находится близко к горизонту, оно посылает свои лучи не только к нам и над нами, но и во всех направлениях; и глаз, находящийся на высоте нескольких тысяч футов над землей, увидел бы солнце почти в его полуденном цвете, поскольку великолепные краски заката, которые мы видим на уровне моря, почти отсутствуют на больших высотах. Если бы облако или туман находились на такой высоте, солнечный свет падал бы на них, и, хотя лишь небольшая часть была бы избирательно рассеяна из-за общей плотности частиц, большая часть отражалась бы обратно к нашим глазам и приходила с высоты более восьми-десяти градусов и, следовательно, после прохождения промежуточной атмосферы достигла бы нас в виде оранжевого света, о котором мы только что говорили. Облака, которые становятся оранжевыми, когда находятся рядом с солнцем, обычно выше тех, которые одновременно являются красными или фиолетовыми. Зеленый цвет неба в горошек часто возникает из-за контраста, поскольку контрастирующим с красным цветом является зеленый, и из-за этого синева неба кажется определенно более зеленой. Иногда, однако, это происходит из-за абсолютной смеси голубизны неба и оранжевого света, который освещает одну и ту же дымку. В

высокогорных Альпах нередко вершины покрытых снегом гор окрашиваются в тот же малиновый цвет, который мы описали как окраску облаков, и обычно это происходит сразу после захода солнца, когда солнце опускается так низко за горизонт, что свету приходится проходить через большую толщу плотного воздуха и, следовательно, через большее количество мелких частиц, чем когда он находится непосредственно над горизонтом. В этом случае красный цвет солнечного света смешивается с голубым светом неба и придает нам малиновые оттенки. Более глубокие и насыщенные оттенки облаков сразу после захода солнца также вызваны той же причиной, поскольку толщина проходящего воздуха больше.

Стоит остановиться на мгновение и подумать, какое необычайное чувственное удовольствие доставляет нам присутствие маленьких рассеивающихся частиц, парящих в воздухе; что без них цвет, который так сильно впечатляет нас, был бы пустым звуком, и что художникам пришлось бы полагаться главным образом на форму, чтобы передать свои чувства к искусству.

Действительно, без этих частиц, вероятно, не было бы неба, и объекты имели бы те же четкие очертания, что и горы на луне без атмосферы. Они были бы только непосредственно освещены солнечным светом, а их тени - светом, отраженным от окружающих ярких поверхностей.

ГЛАВА VII.

Яркость спектра для людей с нормальным зрением и дальтоники -Метод определения яркости пигментов -Добавление одной яркости к другой.

Определение яркости цветного объекта по сравнению с бесцветной поверхностью, освещенной тем же источником света, является определением второй цветовой константы. Сначала мы возьмем цвета чистого спектра и покажем, как можно определить их яркость или относительную яркость. Рассматривая спектр на экране, нет особых сомнений в том, что в желтом цвете наблюдается наибольшая яркость и что яркость уменьшается как в сторону фиолетового, так и в сторону красного. По направлению ко второму градиент яркости, очевидно, более быстрый, чем по направлению к первому. В таком случае очевидно, что, за исключением самой яркой части, всегда есть два луча, по одному с каждой стороны от желтого, которые должны быть одинаково яркими. Если спектр перекомбинировать для образования белого пятна на экране и пропустить через него предметное стекло с прорезью, последовательно появятся пятна одинаковой площади разных цветов, но желтое пятно будет самым ярким. Если пятно, образованное отраженным лучом, наложить на цветное пятно, а стержень вставить между ними, мы получим цветную полосу рядом с белой полосой, и, поместив наши вращающиеся секторы на пути отраженного луча, яркость последнего можно уменьшить по своему усмотрению.

Предположим, что секторы установлены под углом 45° , что уменьшит отраженный луч до четверти его нормальной интенсивности, мы найдем некоторое место в спектре, между желтым и красным, где белая полоса явно менее яркая, чем цветная полоса, и при небольшом смещении в сторону желтого будет найдено другое место, где она более яркая. Между этими двумя точками должно быть какое-то место, где яркость для глаза одинакова. Это можно очень

легко обнаружить, быстро перемещая щель взад-вперед между этими двумя местами "слишком темно" и "слишком светло", и, уменьшая путь, по которому щель должна проходить, в конце концов получается пятно, дающее одинаковую яркость. Положение, которое занимает прорезь, отмечено на шкале за предметным стеклом, как и раскрытие секторов, в данном случае 45° . Поскольку между желтым и фиолетовым есть еще одно положение в спектре, имеющее ту же интенсивность, его необходимо найти тем же способом и аналогичным образом отметить. Таким же образом можно найти яркость цветов в спектре, эквивалентную яркости белого света, проходящего через другие отверстия секторов, и затем результаты могут быть нанесены на график в виде кривой. Это делается путем определения масштаба спектра в качестве основания кривой и установки в каждом положении величины угловой апертуры сектора, которая использовалась для придания равной яркости белому цвету. Соединяя концы этих ординат линиями, образуется кривая, которая графически представляет наблюдателю яркость спектра. На рис. 11 максимальная яркость была принята за 100, а остальные ординаты приведены к этому масштабу. Внешняя кривая рисунка была построена на основе наблюдений, сделанных автором, у которого есть цветное зрение, которое можно считать нормальным, поскольку оно совпадает с наблюдениями, сделанными большинством людей. Внутренняя кривая требует небольшого пояснения, хотя она будет лучше понята, когда мы коснемся теории цветового зрения.

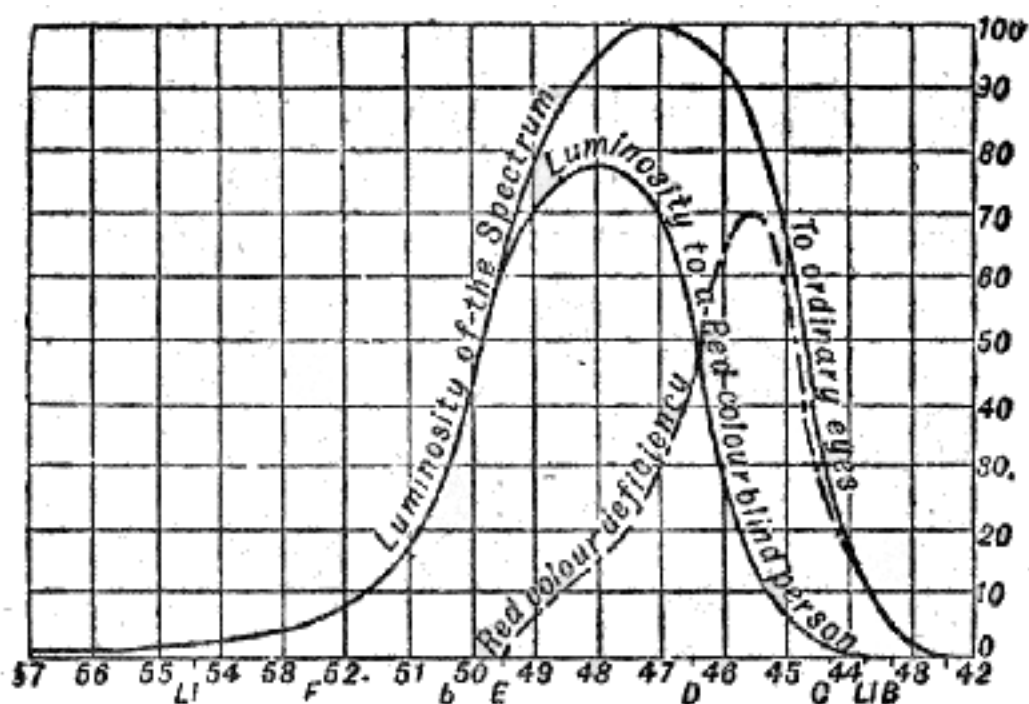


Рис. 11. Кривая

яркости спектра положительного полюса электрического света.

Наблюдатель в этом случае был дальтоником по отношению к красному, то есть он не воспринимал красные объекты как красные, а только различал их по другим цветам, которые были смешаны с красным. Исходя из этого, мы, естественно, должны ожидать, что его восприятие спектра будет сокращено, и это полностью доказывают наблюдения. Если бы случилось так, что его восприятие всех других цветов было одинаково острым у человека с нормальными глазами, то его освещенность части спектра, занимаемой фиолетовым и зеленым, должна была бы быть такой же, как у последнего. Диаграмма показывает, что это так, и

количество красного, присутствующего в каждом цвете, для наблюдателя с нормальным зрением показано кривой дефицита, которая была получена путем вычитания ординат кривой дальтонизма из ординат нормальной кривой. Есть и другие люди, у которых дефектное восприятие зеленого цвета, и они снова дают другую кривую яркости для спектра. Эти различия в восприятии яркости различных цветов очень интересны с физиологической точки зрения, и такой способ измерения является очень хорошим тестом на нарушение цветового зрения. Мы коснемся темы дальтонизма в следующей главе.

Ниже приведены значения яркости цветов, зафиксированные главными линиями солнечного спектра, а также красными и синими линиями лития, на которые уже делались ссылки.

Линия.	Цвет.	Яркость.	
		Нормальный глаз.	Красный дальтоник.
A	Очень темно—красный	—	—
B	Красный (малиновый)	1·0	0
Красный литиевый	Красный (малиновый)	8·5	·5
C	Красный (алый)	20·6	2·1
D	Оранжевый	98·5	53·0
E	Зеленый	50·0	49·0
F	Сине—зеленый	7·0	7·0
Синий литиевый	синий	1·9	1·9
G	Фиолетового	·6	·6
Ч	Слабого лавандового	-	-

Неспособность человека, страдающего красной дальтонизмом, воспринимать красный цвет очень хорошо показана из этой таблицы. Например, можно заметить, что он воспринимает примерно одну десятую часть света при температуре C, который воспринимает человек с нормальными глазами.

Модификация этого плана может быть использована для измерения яркости спектра, и она *чрезвычайно* полезна, потому что мы можем адаптировать ее для измерения цветов, отличных от этих простых. На плане, который уже объяснялся, был изменен цвет пятна, чтобы получить равную яркость с определенной яркостью белого света. На измененном плане яркость белого света изменена, поскольку яркость тени, освещаемой отраженным лучом, можно быстро изменять по желанию, открывая или закрывая отверстия секторов во время его вращения. Щель на предметном стекле помещается в спектр в любой желаемой точке, и апертура секторов изменяется до тех пор, пока не будут обеспечены равные яркости. Показания, полученные с помощью этого плана, очень точны и дают те же результаты, что и при использовании предыдущего метода.

Следует помнить, что до сих пор мы имели дело с цветами спектра, которые являются интенсивными, потому что это цвета, создаваемые спектром чрезвычайно яркого источника света. С помощью хитрости мы можем вывести из этой кривой кривую яркости спектра любого

другого источника света. Если каким-либо образом мы сможем сравнить, *inter se*, интенсивность одних и тех же лучей в двух разных источниках света, одним из которых является электрический свет, мы, очевидно, сможем из приведенного выше рисунка вывести кривую яркости спектра другого источника света (см. [стр. 109](#)).

Теперь мы можем показать, как мы можем адаптировать последний метод к измерению яркости света, отраженного от пигментов.



Рис. 12. Прямоугольники белого и киноварного цвета.

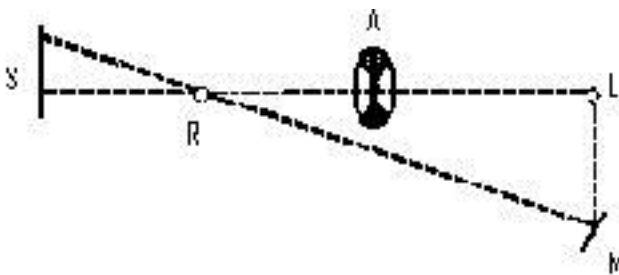


Рис. 13. Устройство для измерения яркости пигментов.

Предположим, что яркость поверхности алого цвета нужно было сравнить с белой поверхностью, когда обе были освещены, скажем, газовым фонарем, применяется следующая процедура. Из черной бумаги вырезается прямоугольное пространство (рис. 12) такого размера, чтобы его сторона была примерно вдвое меньше ширины стержня, используемого для отбрасывания тени: удобный размер - примерно один дюйм в ширину и три четверти дюйма в высоту. Одна половина отверстия заполнена белой поверхностью, а другая половина - поверхностью киноварного цвета. Лампа L (рис. 13) освещает все целиком, а стержень R шириной чуть более полудюйма расположен в таком положении, что он отбрасывает тень на белую поверхность, причем край тени расположен точно на стыке киновари и белой поверхности. Плоское посеребренное зеркало M расположено на таком расстоянии и под таким углом, чтобы отражаемый им свет отбрасывал вторую тень на алую поверхность. Между R и L расположены вращающиеся секторы A. Очевидно, что белая полоса становится слишком темной, а затем слишком светлой, изменяя апертуру секторов, и быстро совершается колебание уменьшающейся величины, пока две тени не станут казаться одинаково

светящимися. Затем киноварь заменяется белым экраном и снова проводится сравнение. Среднее значение двух наборов показаний угловых апертур дает относительное значение двух светимостей. Однако следует отметить, что любой рассеянный свет, который может находиться в комнате, будет относительно лучше освещать белую поверхность, чем цветную. Чтобы избежать этого, приемный экран помещается в коробку, в передней части которой вырезано узкое отверстие, достаточное для того, чтобы два луча могли достигать экрана. В переднем углу коробки также прорезано отверстие, через которое наблюдатель может видеть экран. Когда это устройство используется, о его эффективности свидетельствует тот факт, что при закрытии отверстий вращающихся секторов тень на белой поверхности кажется совершенно черной, чего не было бы, если бы в коробке присутствовал рассеянный свет в любом измеримом количестве. Коробка, как можно заметить, затемнена внутри и используется в затемненной комнате. Расположение зеркал полезно, поскольку любое изменение прямого освещения также проявляется в отраженном свете. Вместо газового освещения можно использовать отраженный световой люк в крыше или солнечный свет с помощью очень очевидных ухищрений, в некоторых случаях газовый фонарь заменяет отраженный луч. Когда мы хотим измерить яркость при нашем стандартном освещении, а именно. при свете, излучаемом кратером положительного полюса дуговой лампы, все, что нам нужно сделать, это поместить пигмент в белое пятно рекомбинированного спектра и осветить белую поверхность отраженным лучом, используя, конечно, стержень для отбрасывания теней, как только что описано. Вращающиеся секторы должны располагаться либо в одном луче, либо в другом, в зависимости от яркости пигмента.

Яркости следующих цветов были получены вышеуказанным методом, и впоследствии нам придется использовать их значения.

Электрический свет.

Белый	100
Киноварь	36
Изумрудно-зеленый	30
Ультрамарин	4.4
Оранжевый	39.1
Черный	4
дюйма (другая поверхность)	5.1

Предположим, что у нас есть два или более цвета спектра, яркости которых были найдены, сразу возникает вопрос о том, является ли яркость составного цвета при сочетании этих двух цветов суммой яркостей каждого из них в отдельности. Таким образом, предположим, что у нас есть предметное стекло с двумя щелями, расположенными в спектре, и мы формируем цветное пятно из смеси двух цветов и измеряем его яркость, а затем измеряем яркость пятна сначала, когда одна щель закрыта, а затем другая. Будет ли сумма двух последних значений яркости равна показателю яркости составного цветового пятна? Естественно было бы предположить, что так оно и будет, но физик обязан не делать никаких предположений, которые нельзя

доказать; и истинность или иное отсутствие совершенно легко установить, используя указанный последний метод измерения. Давайте узнаем наш ответ из такого эксперимента.

Измерены цвета. Наблюдаемая светимость.

R	203·0
G	38·5
V	8·5
(R + G)	242
(G + V)	45
(R + V)	214
(R + G + V)	250

Использовались три отверстия: одно в красном, другое в зеленом и третье в фиолетовом свете, и яркость измерялась для каждого из них отдельно, следующих двух вместе, а затем всех трех вместе, с результатами, приведенными выше.

Точность измерений, возможно, лучше всего будет продемонстрирована путем сложения отдельных цветов вместе, пар и отдельных цветов и сравнения этих значений с полученными при комбинировании трех цветов. Когда пары будут показаны, они будут заключены в квадратные скобки; таким образом, (R + G) означает, что учитывается яркость составного цвета, образованного красным и зеленым.

$$\begin{aligned}R + G + V &= 250·0 \\(R + G) + V &= 250·5 \\(R + V) + G &= 252·5 \\(G + V) + R &= 248·0 \\(R + G + V) &= 250·0\end{aligned}$$

Среднее значение первых четырех равно 250·25, что всего на 1/10% отличается от значения 250, полученного в результате измерения (R + G + V) вместе взятых. Другие измерения полностью подтвердили тот факт, что яркость смешанного источника света равна сумме яркостей его компонентов. Верно, что здесь мы имели дело только с цветами спектра, но мы увидим, когда обратимся к смеси цветов, отражаемых пигментами, что тот же закон справедлив для всех.

Впоследствии будет доказано, что смесь трех цветов, а иногда и только двух цветов, будь то спектр или пигменты, может производить впечатление белого света. Если затем мы измерим все компоненты, кроме одной, а также белый свет, производимый всеми, то яркость оставшегося компонента можно получить, вычитая первые измерения из последних. Например, красный, зеленый и фиолетовый были смешаны для получения белого света. Яркость белого была принята за 100, красный и фиолетовый были измерены и обнаружили, что они имеют яркость 44 · 5 и 3 соответственно. Это должно придать зеленому цвету яркость 52·5. Зеленый был измерен и

оказался равным 53, в то время как измерение красного и зеленого вместе дало яркость $96 \cdot 5$ вместо 97.

ГЛАВА VIII.

Методы измерения интенсивности различных цветов спектра, отраженных от пигментированных поверхностей—Шаблоны для спектра.

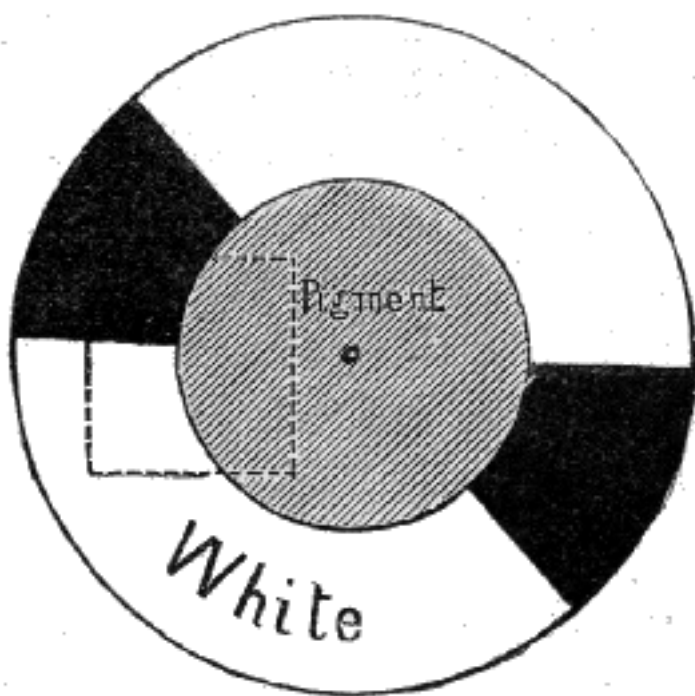


Рис. 14.Измерение интенсивности лучей, отраженных от белых и цветных поверхностей.

Теперь мы перейдем к демонстрации того, как мы можем измерить количество спектрального света, отражаемого различными пигментами. Давайте возьмем полоску картона, раскрашенную киноварной пастой, оставив половину ширины белой, и аналогичную полоску - изумрудно-зеленую. Если мы разместим первый луч в спектре так, чтобы половина его ширины приходилась на красную, а другая половина - на белую карту, мы увидим, что, по-видимому, интенсивность красного и оранжевого лучей не уменьшается из-за отражения от киновари, но что в зеленом и за его пределами отражается лишь очень малая часть спектра. При аналогичном расположении изумрудно-зеленого цвета в спектре будет обнаружено, что красные лучи поглощаются, но в зеленых лучах обнаруживается полная интенсивность цвета, исчезающая в голубых. Что нам теперь нужно сделать, так это найти метод сравнения интенсивностей различных лучей, отраженных от пигментов, с интенсивностями лучей, отраженных от белой поверхности. Мы начнем со второго из двух методов, которые автор

разработал для этого объекта, а затем опишем первый, который является более сложным. Предположим, у нас есть, скажем, карточный диск диаметром три дюйма, окрашенный пигментом, отражающую способность которого необходимо измерить, и поместим его на вращающееся устройство с черным и белым секторами диаметром, скажем, пять дюймов, которые могут накладываться друг на друга, чтобы показывать разные пропорции черного к белому (см. Рис. 42). Если мы нанесем цветное пятно (показанное нарис. 14 как область внутри пунктирного квадрата) на комбинацию черного и белого и в то же время на пигментированный диск, то, вероятно, либо одно, либо другое будет ярче. Однако, перемещая щель вдоль спектра, становится очевидным, что можно найти цвет, который при вращении одинаково отражается от них обоих. Возьмем в качестве примера сектора, состоящие из двух частей белого и одной части черного, центральный диск - киноварь, щель перемещается вдоль спектра до тех пор, пока не будет достигнута такая точка, при которой цвет, отраженный от кольца и диска, будет одинаковой яркости, поскольку следует помнить, что они не могут отличаться по оттенку, поскольку свет монохроматический. Будет обнаружено, что место, где они совпадают по яркости, выделено красным цветом, точное положение фиксируется шкалой на обратной стороне слайда. Принимая соотношение черного к белому как три к одному, будет установлено, что совпадение произошло в оранжевом цвете. Увеличивая долю черного все больше и больше, будет достигнута точка, при которой отражение происходит равномерно вдоль синего конца спектра, это будет от зеленого до конца фиолетового. При достаточном увеличении количества произведенных совпадений можно составить кривую отражения, показывающую точную долю каждого отраженного луча спектра. Равномерное отражение вдоль синего конца спектра показывает, что от пигмента отражается определенное количество белого света.

Затем, взяв изумрудно-зеленый диск, если мы применим ту же процедуру, то обнаружим, что для некоторых оттенков кольца есть два места в спектре, от которых отраженные цвета дают одинаковую яркость. Построив кривые точно таким же образом, как показано для кривой яркости на странице 78, заменив открытую апертуру сектора угловым значением используемого белого, мы можем графически показать правильное отражение для каждой части спектра. Иногда три точки в спектре будут считываться как дающие равные отражения от цветного диска и серого кольца.

На прилагаемых рисунках показаны результаты, полученные для отражения от киновари, изумрудно-зеленого и французского синего цветов после внесения поправки на белый цвет путем добавления количества отражений от черного.

Шкала соответствует используемому призматическому спектру. На странице 46 мы указывали, что белую поверхность можно сделать темнее черной, осветив последнюю и отключив свет от первой. Поместив черную поверхность на место одной из цветных, как показано на стр. 82, можно определить яркость черной поверхности. В этом случае было обнаружено, что было отражено почти ровно 5% белого света от кратера положительного полюса. В таблице показаны исходные измерения, а также скорректированные измерения, и для удобства интенсивность каждого луча по всей длине спектра, отраженного от белого, принята за 100. Положение опорных линий на шкале (рис. 15) выглядит следующим образом—

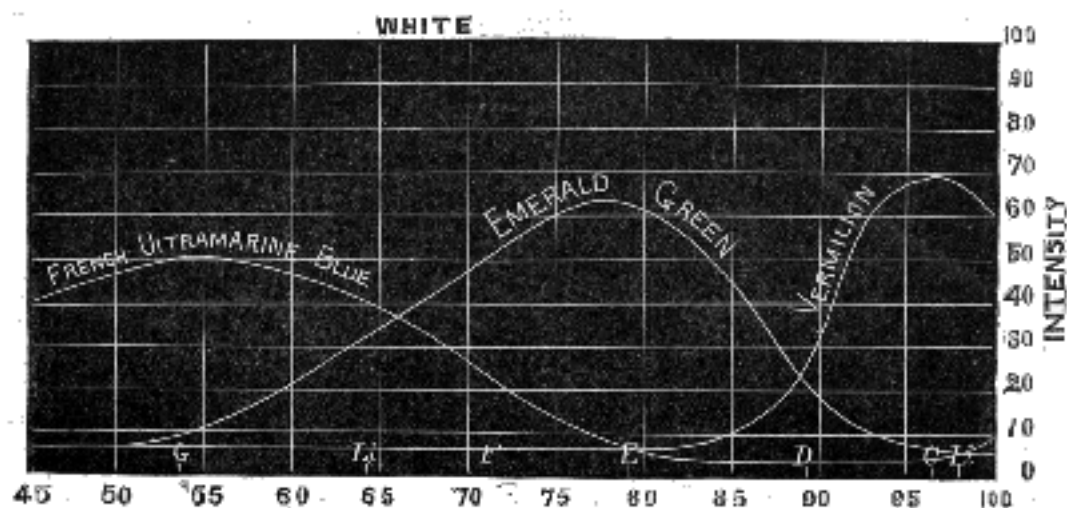


Рис. 15.

Интенсивность лучей, отраженных от киновари, изумрудно-зеленого и французского ультрамарина.

$B=101$, $C=96.25$, $D=89$, $E=79.9$, $F=71.5$, $G=53.5$.

КИНОВАРЬ.

Белые сектора.

Исходная
настройка.

Белый исправлен на
черный.

Исправленный белый
100.

Показания шкалы
спектра.

Белый. Черный.

10	350	27.5	7.65	71½
20	340	37.0	10.15	84
30	330	46.5	12.95	86.2
50	310	65.5	18.10	88.0
70	290	84.5	23.50	88.7
90	270	103.5	29.7	89.5
120	240	132.0	37.2	90.3
150	210	160.5	45.0	91
180	180	189.0	52.5	91.6
210	150	217.5	60.2	92.5
220	140	227.0	63.2	93.5
230	130	236.5	66.2	94.5
240	120	246.0	68.5	96
230	130	236.5	66.2	97.7
210	150	217.5	60.2	100.0

ИЗУМРУДНО-ЗЕЛЕНый.

Белые сектора.

Исходная
настройка.

Белый исправлен на
черный.

Исправленный белый
100.

Показания шкалы
спектра.

Белый. Черный.

10	350	27·5	7·65	50
20	340	37·0	10·15	54
30	330	46·5	12·95	55
50	310	65·5	18·10	57·5
70	290	84·5	23·5	60·0
90	270	103·5	29·7	63·5
110	250	122·5	34·7	65·5
130	230	141·5	39·5	67·5
150	210	160·5	45·0	68·5
170	190	179·5	50·0	71
190	170	195·5	54·7	73·5
210	150	217·5	60·2	75·0
220	140	227	63·2	76
220	140	227	63·2	78
210	150	217·5	60·2	80
190	170	198·5	54·7	82
170	190	179·5	50·0	83
150	210	160·5	45·0	84
130	230	141·5	39·5	85
110	250	122·5	34·7	86·5
90	270	103·5	29·7	87·5
70	290	84·5	23·5	88·5
50	310	65·5	18·10	90·0
30	330	46·5	12·95	92
20	340	37·0	10·15	94
10	350	27·5	7·65	98

ФРАНЦУЗСКИЙ УЛЬТРАМАРИНОВЫЙ СИНИЙ.

Белые сектора.

Исходная
настройка.

Белый исправлен на
черный.

Исправленный белый
100.

Считывание шкалы
спектра.

Белый. Черный.

0	360	18·0	5·0	84
10	350	27·5	7·65	80
20	340	37·0	10·15	77
30	330	46·5	12·95	75
40	320	56·0	15·6	74
60	300	75·0	20·7	72·5
80	280	94·0	25·5	70·5
100	260	113·0	32·5	68
120	240	132·0	37·2	66·5
140	220	151·0	42·3	62·5
160	200	170·0	47·4	59·5
170	190	179·5	50·0	55
160	200	170·0	47·4	51
140	220	151·0	42·3	46
0	360	18·0	5·0	95
10	350	27·5	7·65	98
20	340	37·0	10·15	99
30	330	46·5	12·95	110

Эти три измерения приведены полностью, поскольку они будут полезны для справки при описании других экспериментов.

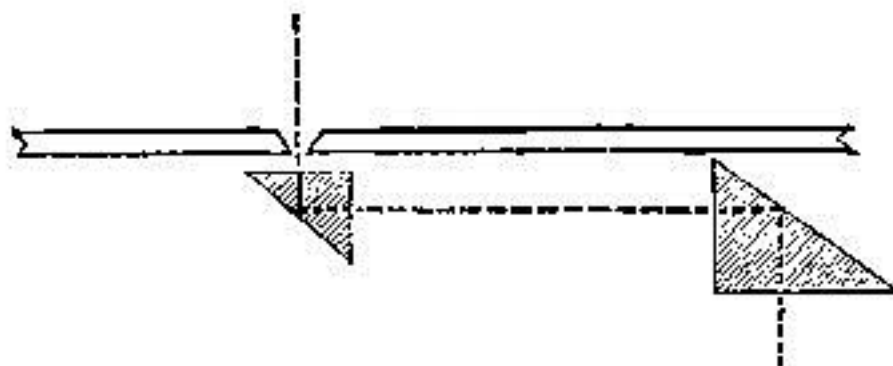


Рис. 16. Способ получения двух

лоскутов одинакового цвета.

Когда нам нужно измерить цвет, передаваемый окрашенными телами, мы должны принять несколько иной план, который является чрезвычайно точным. Первое, что необходимо, - это создать какое-либо устройство, при котором два луча одинакового цвета, то есть одинаковой длины волны, достигают экрана, один из которых проходит через прозрачное тело, подлежащее измерению, а другой не поглощается. Если у нас вдобавок есть какие-то средства выравнивания интенсивности двух лучей, мы можем тогда определить величину, отсекаемую телом, через которое проходит один луч. Метод, о котором можно было бы подумать в первую очередь, заключался бы в использовании двух спектров от двух источников света; но если бы мы приняли этот план, не было бы никакой гарантии, что спектры не будут меняться по интенсивности время от времени. Таким образом, задача, на которую нужно было нацелиться, состояла в том, чтобы сформировать два спектра от одного и того же источника света и с одним и тем же лучом, проходящим через щель коллиматора. Здесь нам помогает свойство исландского шпата, который способен расщеплять луч на два расходящихся луча. Помещая так называемую призму двойного изображения из исландского шпата на конце коллиматора, мы получаем два расходящихся луча света, падающих на призмы, а поворачивая призму двойного изображения, мы можем получить два спектра на экране камеры, расположенные один над другим, и если щель предметного стекла будет достаточно длинной, через нее пройдут два луча одинакового цвета, отделенные друг от друга темным пространством, ширина которого зависит от длины щели коллиматора. Следует отметить, что при таком расположении мы получаем именно то, что нам требуется: свет от одного источника проходит через одну и ту же щель, разлагается одними и теми же призмами, и поскольку лучи расходятся в плоскости, проходящей через щель коллиматора, длина спектра остается той же. Проблема, которую необходимо решить, заключается в том, как использовать эти два спектра теперь, когда они у нас есть. Мы можем заставить свет из верхнего спектра проходить через окрашенное тело следующим образом. Давайте поместим прямоугольную призму перед верхней щелью, отражающую, скажем, луч вправо, и после того, как он пройдет определенное расстояние, поймем его другой прямоугольной призмой и таким образом отразим на экран. Уже на пути луча, выходящего через щель из нижнего спектра, помещается линза L_4 , образующая квадратное пятно на экране. Поместив аналогичную линзу на пути другого луча после отражения от второй прямоугольной призмы, мы можем наложить второе пятно того же цвета поверх первого пятна, а поместив стержень на пути двух лучей, мы можем, как и раньше, получить две тени рядом, но на этот раз каждая из них освещена одним и тем же цветом. Одна тень будет освещена сильнее, чем другая, из-за разной интенсивности лучей, на которые призма с двойным изображением расщепляет первичный луч. Однако их можно выровнять, поместив вращающееся устройство на пути одного из лучей. При выравнивании сектор считывается и сообщает нам, насколько ярче один спектр, чем другой. Таким образом, предположим, что в прямом луче сектора должны быть закрыты под углом 80° , чтобы добиться этого, нижний спектр был бы 180/80, или в $2 \cdot 25$ раз ярче нижнего спектра. Следует отметить, что поскольку два спектра сформированы светом одинакового качества, это же соотношение будет сохраняться на всей их длине. Если этого не происходит, это показывает, что призма с двойным изображением не отрегулирована и что одни и те же лучи не проходят через щель на предметном стекле, и ее необходимо вращать до тех пор, пока показания по всему предметному стеклу не станут одинаковыми. Одним из наиболее чувствительных тестов для регулировки является формирование пятна с оранжевым светом, когда малейшее отклонение от регулировки будет видно по двум пятнам, отличающимся по оттенку.

Теперь мы можем поместить цветной прозрачный объект на пути луча, который является наиболее удобным, и, снова выровняв тени, измерить величину, которую он отсекает; это мы можем сделать для любого луча, который выберем. Поскольку обе прямоугольные призмы могут быть прикреплены к карте или слайду, который перемещается по спектру, перемещать ничего, кроме карты, не нужно. На следующей диаграмме мы имеем долю лучей, пропускаемых тремя различными стеклами, красным, зеленым и синим, в пересчете на непоглощенный спектр. Возьмем, к примеру, на шкале спектра число 11. Кривая показывает, что в той конкретной части спектра, которая находится в синем диапазоне, синее стекло пропускало только 4/100 или 1/25 луча, в то время как зеленое стекло пропускало 10/100 или 1/10. Таким образом, в масштабе № 4 в оранжевом цвете через синее стекло пропусклось только 2%, через зеленое стекло - 4%, а через красное - 20%.

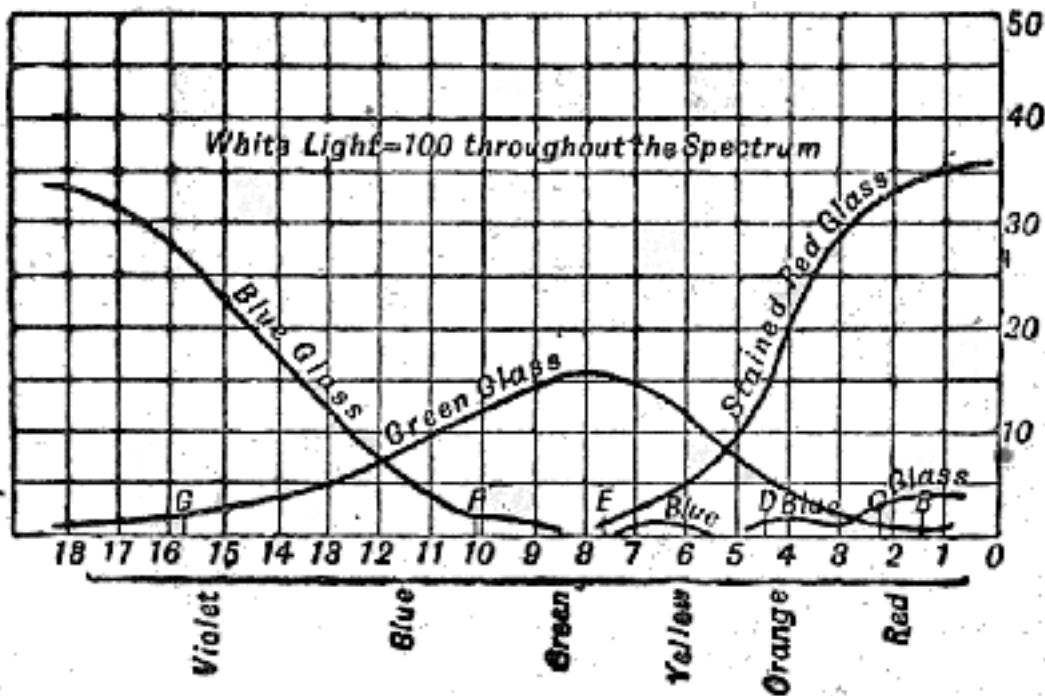


Рис. 17. Поглощение красным, синим и зеленым стеклами.

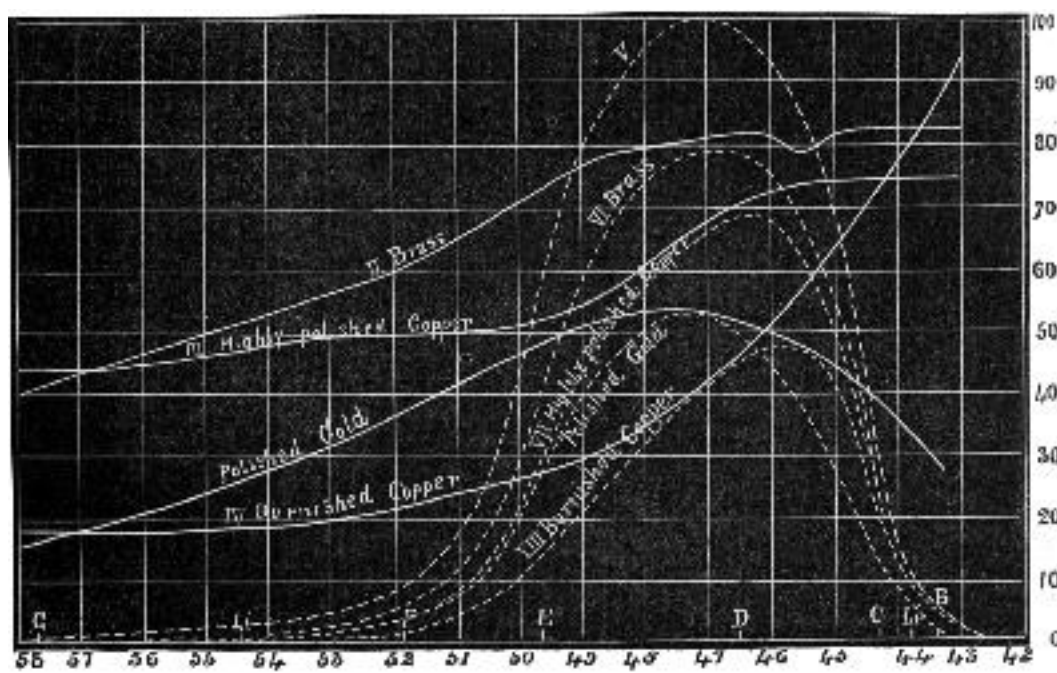
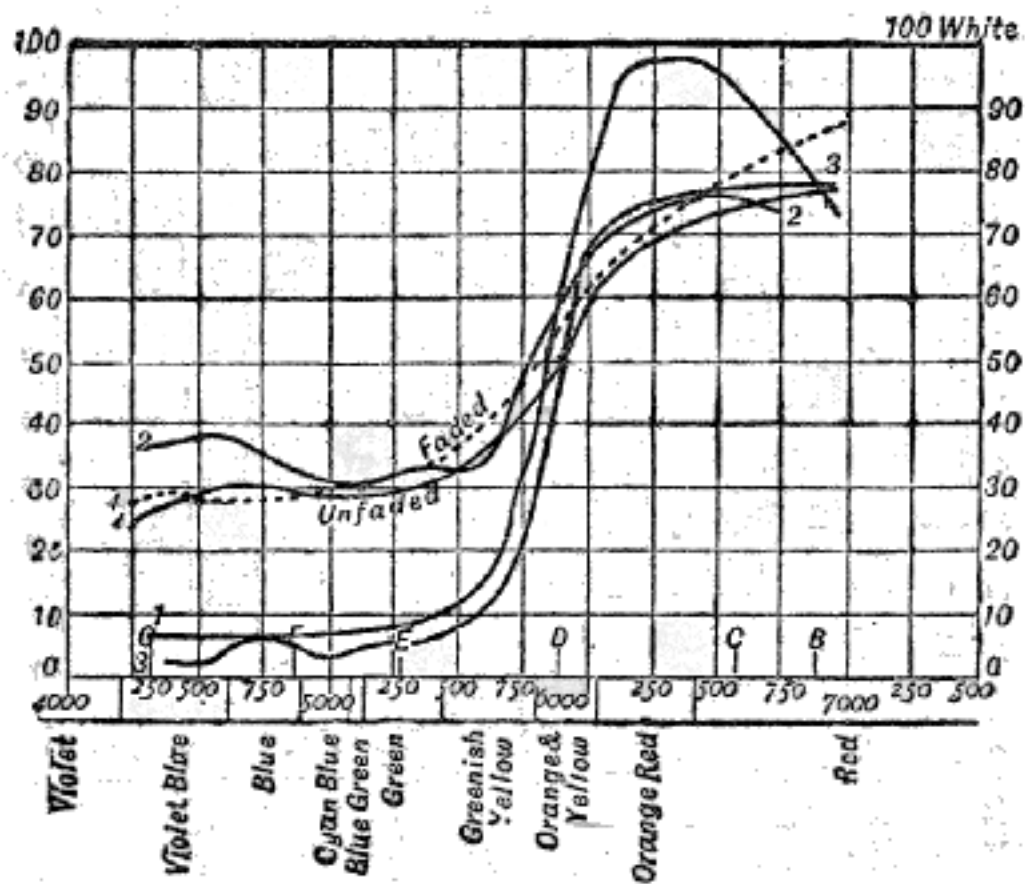


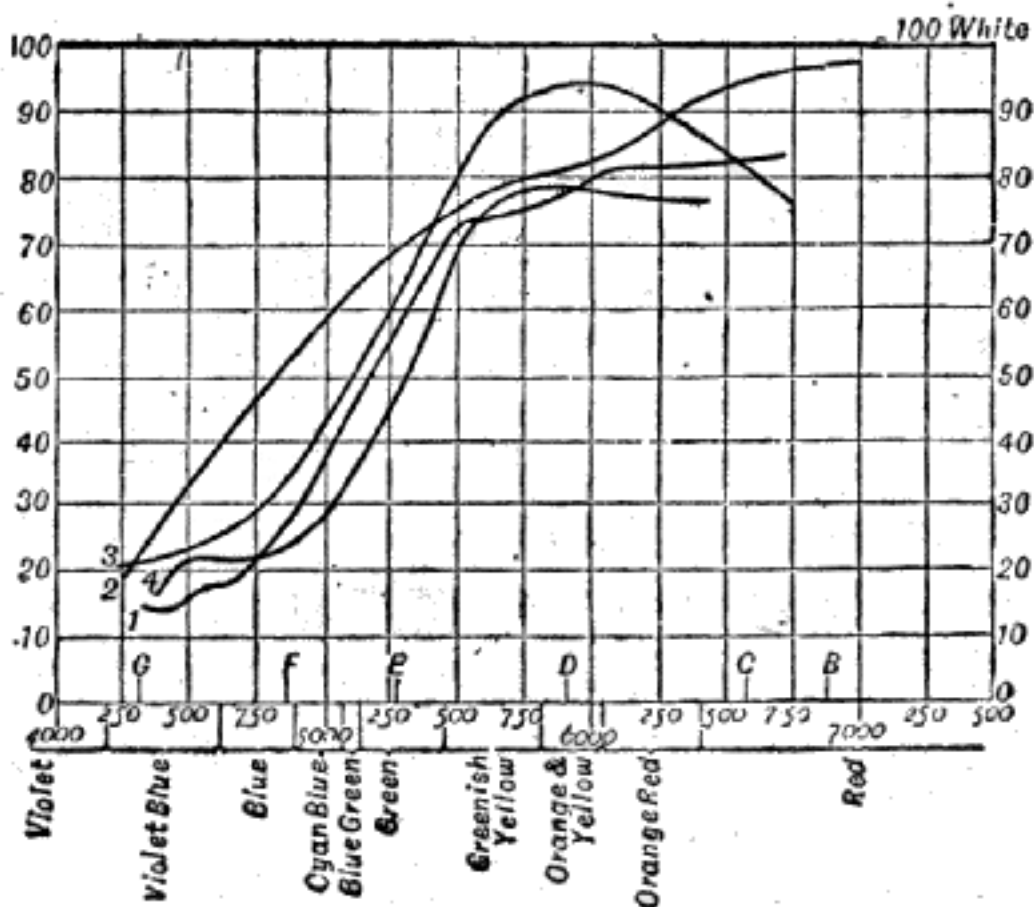
Рис. 18. Свет, отраженный от металлических поверхностей.



Кармин. 3. Иодид ртути. 4. Индийское красное.
Рис. 19.

1. Киноварь 2.

Из таких кривых, подобных этим, мы можем легко вывести кривые яркости спектра после прохождения белого света через окрашенный объект. Все, что нам нужно сделать, это изменить ординаты кривой яркости белого света пропорционально интенсивности лучей до и после прохождения через объект. Будет видно, что когда известна кривая светимости спектра *любого* источника, этот метод применим.

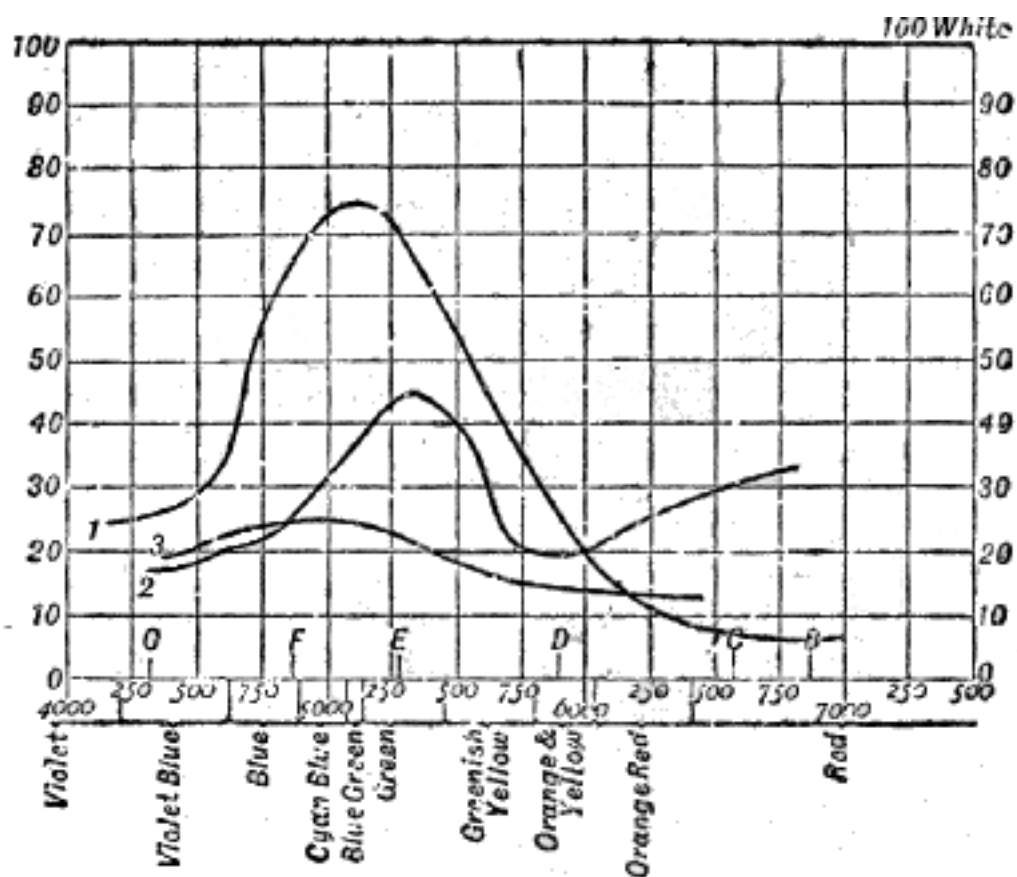


1. Гамбож. 2.

Индийский желтый. 3. Кадмиево-желтый. 4. Желтая охра.

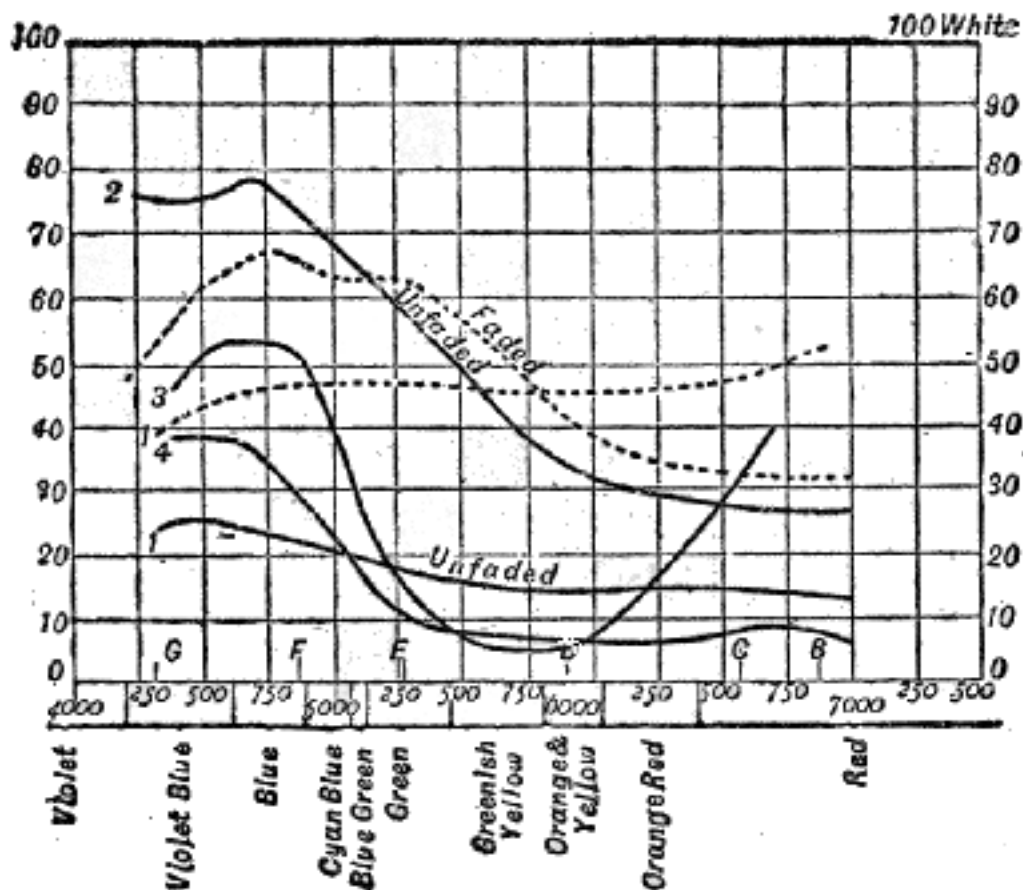
Рис. 20.

Интенсивность различных лучей спектра, отраженных от металлических поверхностей, также может быть измерена, если вместо первой или второй прямоугольной призмы подставить небольшой кусочек металла, используя его в качестве отражающей поверхности, как и лучи, отраженные от любой блестящей и полированной поверхности. На [рис. 18](#) пунктирные кривые показывают *яркость* спектра, отраженного от различных металлов, кривая V представляет собой кривую белого света. Эти кривые получены путем уменьшения ординат кривой V пропорционально кривым интенсивности. Таким образом, при 49 латунь отражает 77% света, а яркость белого составляет 80. Таким образом, яркость света от латуни составляет $77/100$ от 80, или 61. Это показывает принятый метод определения яркости по интенсивности.



1. Изумрудно-зеленый. 2. Оксид хрома. 3. Terre Verte. Рис. 21.

Свет, отраженный от пигментов, также может быть измерен по той же схеме. Принятая процедура аналогична процедуре измерения их яркости, а именно. заставить луч из одного спектра падать на полоску белой поверхности, а луч из другого - на полоску цветной поверхности (см. [стр. 82](#)). Это более удобный метод, чем только что описанный, когда окрашиваемая поверхность невелика. Прилагаемые рисунки (рис. 19, 20, 21, 22) показывают результаты, полученные с использованием различных пигментов.



1. Индиго. 2.

Антверпенский синий. 3. Кобальт. 4. Французский ультрамарин. Рис. 22.

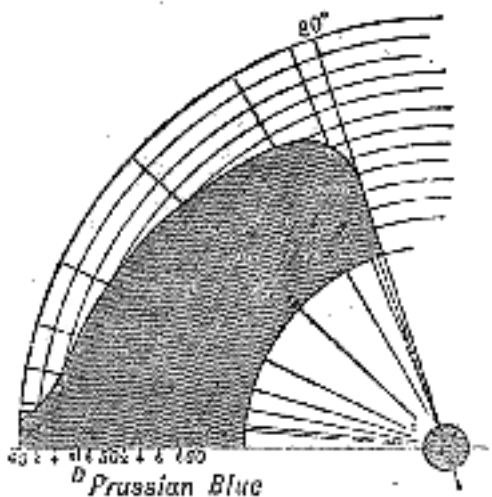


Рис. 23. Способ получения цветного шаблона.

По таким кривым, как эти, мы можем определить цвет пигмента на экране из самого спектра. Это полезное доказательство правильности проведенных измерений. Для этого мы должны отметить на карте (рис. 23) абсолютный масштаб спектра по радиусу окружности и нарисовать круги в различных точках шкалы от ее центра. Из того же центра мы должны провести линии под углом к фиксированному радиусу, соответствующие различным отверстиям секторов,

необходимых в различных точках шкалы для измерения света, отраженного от пигмента. Там, где каждая радиальная линия пересекает окружность, проведенную через определенную точку шкалы, к которой относится ее угол, мы получаем точки, которые, соединившись, образуют изогнутую фигуру. Такая фигура, вырезанная и повернутая перед спектром в нужном положении (например, путем сопоставления линии натрия D с линией на шкале), будет отсекал точно такую же долю каждого цвета, которую поглощает пигмент. Спектр, при рекомбинации, должен давать участок, точно соответствующий измеренному цвету. Спектр должен быть узким, поскольку шаблон подходит только теоретически для спектра шириной в линию, как это легко увидеть.

Шаблоны, подобные этим, всегда позволяют воспроизвести на экране любой цвет, и если использовать свет в том спектре, в котором цвет должен быть виден, будь то солнечный свет, газовый свет, свет звезд — какой бы это ни был свет, — полученный цвет будет таким, который пигмент отражал бы, если бы его рассматривали при таком освещении.

Идентичность цвета, полученного на экране с помощью этого плана, с измеренным, можно легко увидеть, поместив последний в отраженный луч белого света рядом с цветным пятном, образованным на белой поверхности.

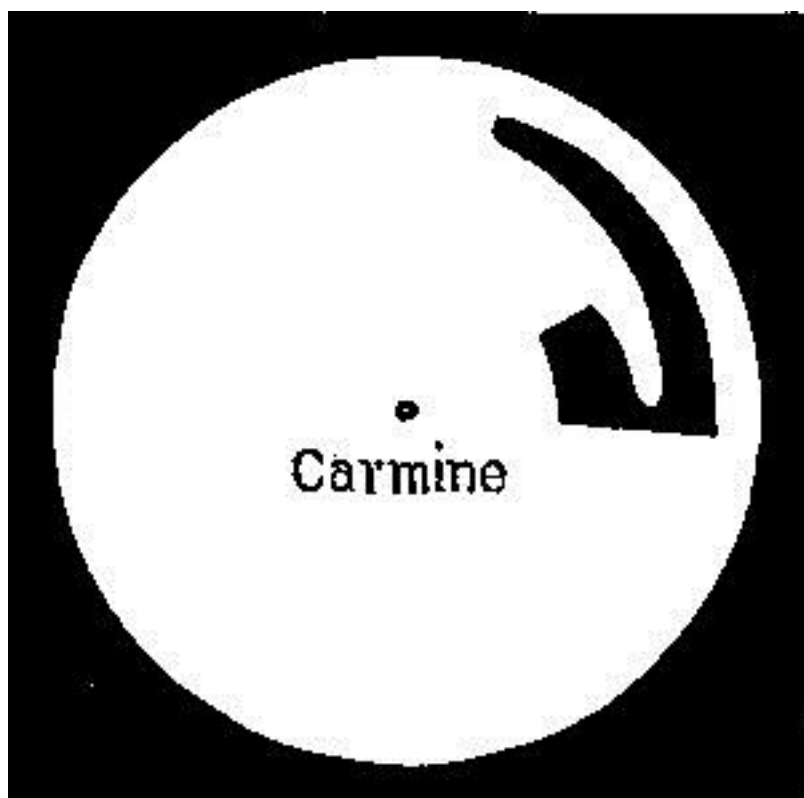


Рис. 24. Шаблон из кармина.

На рис. 24 у нас есть маска или шаблон из кармина, который использовался для определения правильности измерений. Черное пространство, похожее на палец, справа соответствовало количеству отраженного красного света, а другое - синего и фиолетового; от зеленой части спектра практически не отражался свет.

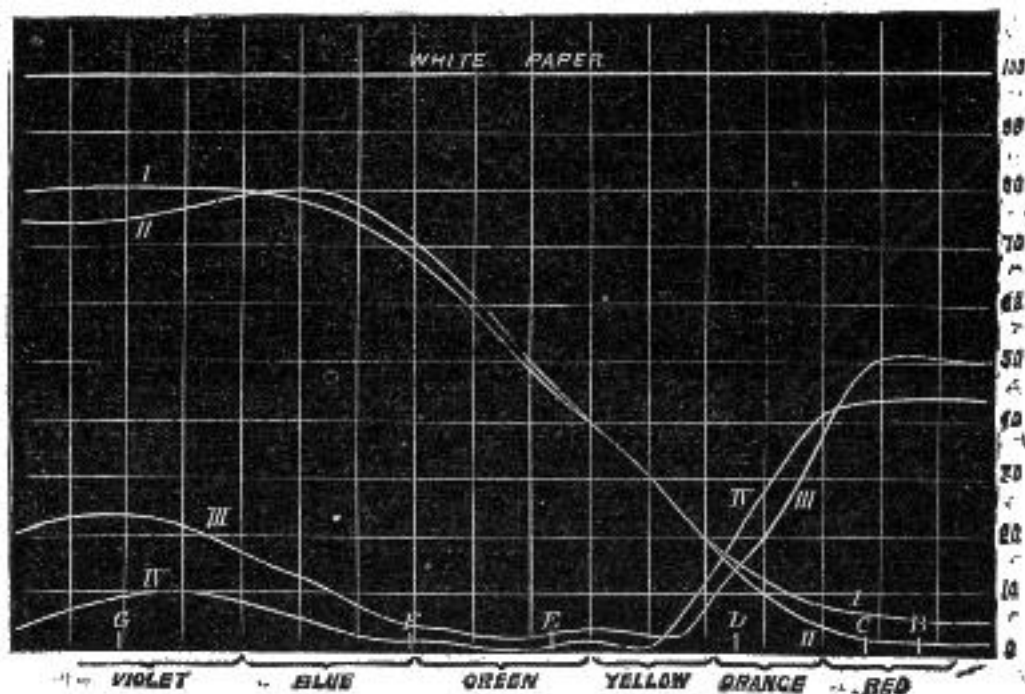


Рис. 26. Поглощение

проходящего и отраженного света берлинской лазурью и кармином.

На странице 108 мы привели диаграмму яркости спектра применительно к стандартному белому свету. Эта яркость станет более заметной, если аналогично описанному выше способу мы создадим шаблон этой кривой (рис. 25). Мы можем поместить узкую щель горизонтально перед конденсирующей линзой оптического фонаря и вывести ее изображение на экран. Если в тесном контакте с этой щелью мы повернем шаблон, то на экране появится градуированная полоса белого света, дающая в черно-белом цвете видимую яркость спектра, видимую глазом.

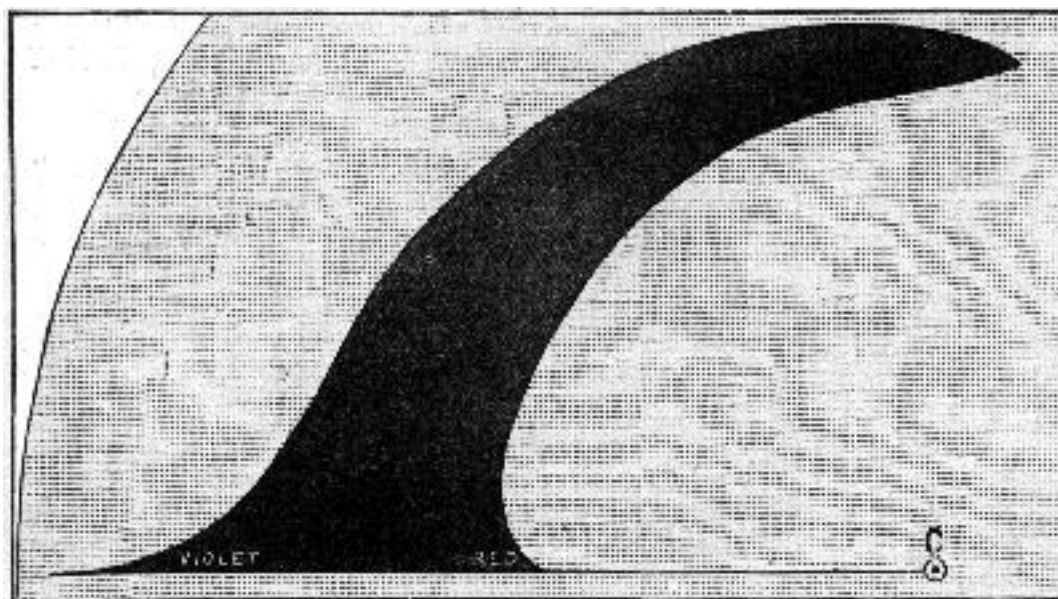


Рис. 25. Шаблон

яркости белого света.

В главе V. было указано, что, как правило, не имеет значения, находится ли пигмент в контакте с бумагой или вдали от нее, при условии, что свет проходит через пигмент. Приведенный выше рисунок (рис. 26) показывает истинность этого утверждения. I. и II. приведены кривые, полученные для света, пропускаемого берлинской лазурью и кармином соответственно, и III. и IV., для света, отраженного от этих цветов на бумаге.

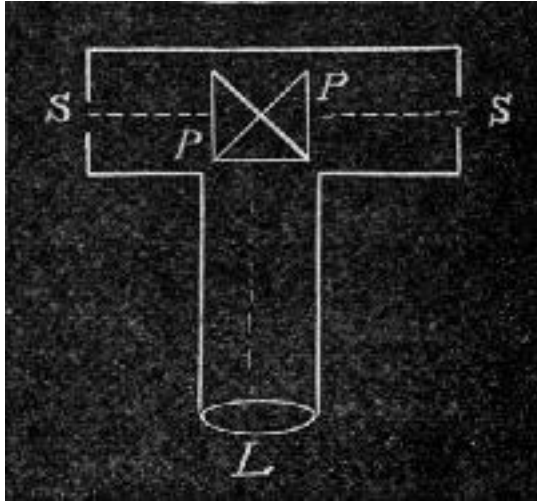


Рис. 27. Коллиматор для сравнения интенсивности двух источников света.

Чтобы измерить разницу в интенсивности лучей от разных источников света, мы можем использовать спектроскопическое устройство с двумя щелями (рис. 27), расположенными в линию под прямым углом к оси коллиматора. Одна щель расположена немного ниже другой, лучи отражаются к коллимирующей линзе L с помощью двух прямоугольных призм P, и формируются два спектра, один над другим. Поместив вращающиеся секторы перед одним из источников, можно выровнять и измерить интенсивности различных частей спектра.

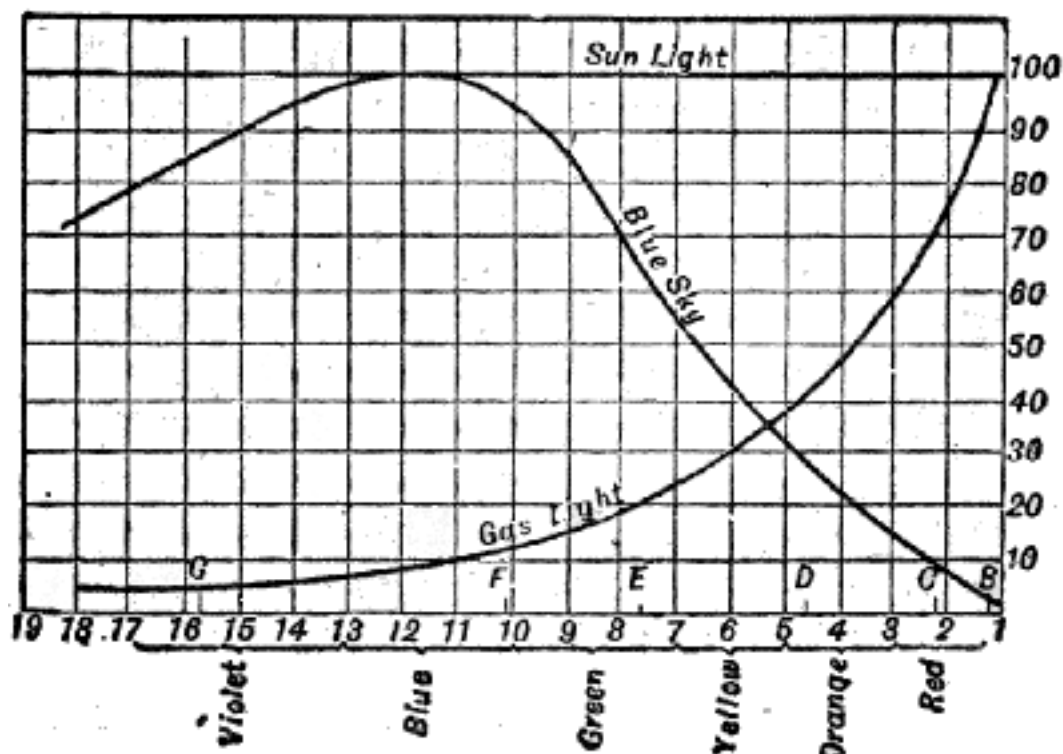


Рис. 28.

Интенсивность спектра солнечного света, газового фонаря и Голубого неба.

Кривые для прилагаемого рисунка (рис. 28) были получены на основе мер, принятых таким образом. Если взять лучи майского солнца при 100 градусах, то будет видно, как быстро уменьшаются зеленые и синие лучи при газовом освещении. В газовом свете содержится всего около 20% зеленых лучей, в то время как в фиолетовом - едва ли 5%. С другой стороны, свет, который приходит к нам с неба, показывает очень заметное затухание желтых и красных лучей. Очень простой эксперимент убедит нас в разнице в цвете между мансардным и газовым освещением. Если мы позволим лучу дневного света упасть на лист бумаги в конце затемненной коробки и отбросим тень от стержня таким лучом, а затем поднесем зажженную свечу или газовый рожок так, чтобы он отбрасывал рядом еще одну тень от стержня, одна тень будет освещена искусственным светом, а другая - дневным. Разница в цвете будет наиболее заметной: синий цвет последнего источника света и желтый цвет первого усиливаются за счет контраста (см. [стр. 198](#)).

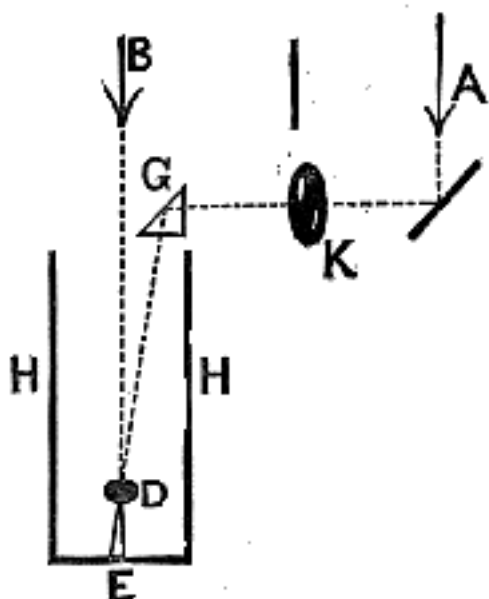


Рис. 29. Сравнение солнечного и небесного освещения.

При небольшом затруднении голубой свет с неба можно сравнить с солнечным светом. Луч света В (рис. 29) отражается посеребренным стеклянным зеркалом от голубого неба в рамку НН, в конце которой находится экран Е. Другое зеркало А, предпочтительно из простого стекла, отражает солнечный свет на второе зеркало без серебра G (показано на рисунке в виде призмы), которое снова отражает его на экран, и каждый из этих источников света отбрасывает тень от стержня D; К - вращающиеся сектора для уменьшения солнечного света, и мы можем создать две одинаково яркие тени рядом друг с другом. Более голубой цвет неба будет очень заметен.

ГЛАВА IX.

Сочетания цветов—Желтое пятно в глазу—Сравнение различных источников света—Простые цвета путем смешивания простых цветов—желтый и синий образуют белый.

Цвет объекта в природе, можно сказать, почти без исключения, обусловлен не одним простым цветом спектра или даже смесью двух или трех из них, а всем белым светом, от которого более или менее абстрагированы цветные полосы, причем поглощение происходит на значительной части или участках спектра. Несмотря на это, мы сейчас экспериментально покажем, что любой цвет может быть образован простым смешением не более трех простых цветов, если они будут правильно выбраны, и из этого мы сделаем вывод относительно самого зрения. Мы можем получить три простых цвета с помощью предметного стекла, содержащего три прорези. Теперь для нашей цели нам требуется, чтобы три щели можно было разместить в любой части спектра, и чтобы их можно было сужать или расширять по своему усмотрению. Вместо карточки писатель использует металлический слайд, как показано на рис. 30.

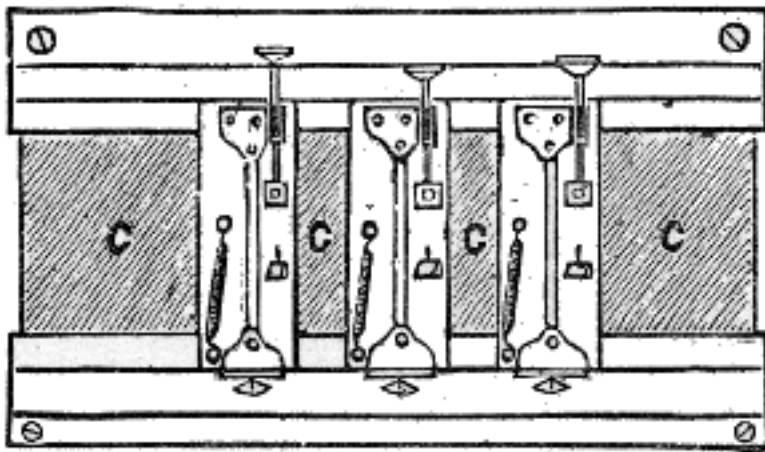


Рис. 30. Слайд с прорезями для

использования в спектре.

Будет видно, что три щели могут быть закрыты или открыты из центра параллельным движением. Они также скользят в паре пазов, так что их можно перемещать вдоль рамы в любое положение. Положение, которое они занимают, обозначено шкалой, выгравированной на передней части затвора. За канавками, в которых перемещаются прорези, находится еще одна пара канавок, в которые могут проскальзывать небольшие кусочки карты СССР и, таким образом, закрывать отверстия между прорезями. При таком расположении все лучи, кроме тех, которые проходят через сами прорези, отсекаются. Металлическая рамка крепится к внешней деревянной рамке, которая скользит в пазах, используемых с картой в устройстве, как уже описано. Удобно всегда держать шкалу на обратной стороне этого деревянного предметного стекла в том же положении, что и тень от наконечника иглы, используемого для регистрации положения, и перемещать прорези вдоль их канавок, когда требуется изменить положение. Используя эти три прорези, можно нанести три разных цвета на одно и то же квадратное пятно на экране.

Очень важный эксперимент состоит в том, чтобы посмотреть, можем ли мы получить белый свет путем смешивания трех цветов, ибо если это возможно, то практически следует, что можно сформировать любой цвет. Мы должны использовать устройство цветных вставок и начать с размещения одной щели в фиолетовом цвете рядом с линией G, другой - между E и F, а третьей - между B и C солнечного спектра, и заполнить промежутки между ними карточками, как показано на рисунке. Для нашей нынешней цели лучше сделать так, чтобы цветное пятно и белое пятно соприкасались друг с другом, не используя стержень, поскольку таким образом мы избегаем цветных полос. Мы обнаружим, что апертуру щелей можно изменить таким образом, чтобы добиться идеального соответствия с белым отраженным светом. Поместив вращающиеся секторы перед отраженным лучом, мы можем уменьшить его интенсивность, чтобы два пятна были одинаково яркими. С помощью сужающегося клина мы можем измерить ширину прорезей и, таким образом, получить пропорции этих трех различных цветов, которые необходимо использовать для получения белого. Это пример метода, который мы используем, когда подбираем любой другой цвет. Предположим, например, что требуется измерить цвет раствора бихромата калия; он помещен на пути отраженного света, и у нас есть оранжевая полоска света, которую мы должны подобрать. В этом случае будет обнаружено, что щель в синем должна быть полностью закрыта, и открыты только зеленая и красная щели. Интенсивности двух источников света уравниваются вращающимися секторами, как и раньше. То же самое проделайте с раствором

перманганата калия. В этом случае не потребуется зеленого света (или, если потребуется, его совсем немного), и цвет перманганата будет формироваться лучами, проходящими через синюю и красную щели.

Этот план очень полезен для измерения всех видов прозрачных цветов с точки зрения трех лучей. Метод определения интенсивности любого луча спектра, проходящего через любую такую среду, уже был объяснен. У последнего есть одно преимущество перед первым, заключающееся в том, что измерения с его помощью являются точными, какой бы источник света ни использовался для формирования спектра. В описанном сейчас методе это не так. Например, цвет перманганата калия при электрическом освещении может сочетаться с красными и синими щелями. Если бы электрический свет заменили прожектором, то оказалось бы, что для создания щелей потребовались бы другие отверстия, не пропорциональные уже сформированным, чтобы соответствовать цвету этого вещества.

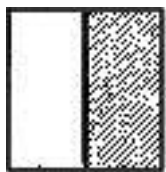


Рис. 31.—Экран, на котором можно выбрать Gamboge.

Если мы хотим зарегистрировать оттенок какого-либо пигмента, мы должны немного изменить наш метод процедуры. Предположим, например, что мы хотим зарегистрировать цвет гамбоги. В таком случае мы раскрашиваем пигментом небольшой кусочек открытки (рис. 31) и делим белое пространство, на котором разбросаны цветные пятна, на две части, и покрываем одну половину пигментированной открыткой, оставляя другую половину белой. Отраженный луч освещает пигмент, а в спектре преобладает белый цвет. Затем ширину трех щелей изменяют до тех пор, пока два оттенка не совпадут, а яркость не будет подобрана с помощью вращающихся секторов.

Есть определенные грустные и эстетичные цвета, с которыми, как можно было бы подумать, не может сочетаться смесь из трех цветов. Коричневый цвет, или "нулевая вода", может показаться неподходящим для подбора. Однако эти цвета можно подбирать точно так же, как подбираются более яркие цвета. Таким образом, окажется, что для получения коричневого пигмента требуется красный, немного зеленого и немного синего; и единственная разница между ним и более ярким оттенком того же цвета заключается в том, что от него требуется отсечь больше общего света, чтобы придать ему мрачность. Грустный цвет означает только пигмент или краску, которая отражает очень мало света, и если это так, то его можно естественным образом подобрать, используя только очень небольшие количества составляющих цветов.

В этом сопоставлении есть одно любопытное явление, на которое можно обратить внимание и которое заслуживает внимания. Соответствие будет различаться в зависимости от того, сравниваются ли пятна с расстояния в пару футов или со значительного расстояния. В последнем случае потребуется больше зеленого цвета, чем в первом. Если подобрать цветовую гамму на расстоянии около шести футов и затем повернуть глаза так, чтобы край повязки приходился на их середину, можно заметить, что цветовая смесь приобретает зеленый оттенок. Этот последний эксперимент показывает, что сетчатка не одинаково чувствительна ко всем цветам по всей своей площади. Физиологи говорят нам, что так называемое желтое пятно

занимает центральное положение в сетчатке и что оно поглощает часть спектра, лежащую в зеленой области. Теперь, когда глаза находятся близко к пятну, его изображение занимает значительную часть сетчатки, и цвет как бы складывается из цвета, видимого на желтом пятне, и того, что находится за ним, поскольку желтое пятно принимает изображение с углом от шести до восьми градусов в угловом измерении. При взгляде на расстоянии мы видим, что пятно почти полностью приходится на желтое пятно, и, следовательно, требуется большее количество зеленого, поскольку оно должно восполнить недостаток, вызванный поглощением. Когда глаза немного повернуты в одну сторону, изображение попадает на внешнюю сторону желтого пятна, и пятно, освещенное смешанным светом, кажется зеленым по сравнению с участком, освещенным белым отраженным лучом.

Таким образом, очевидно, что при подборе цвета всегда следует указывать расстояние взгляда от экрана, а также размеры просматриваемых участков. Может возникнуть справедливый вопрос, почему, если половина пятна, освещенная смешанными цветами, кажется зеленее при повороте глаза, другая не должна в равной степени делать то же самое. Это очень справедливый вопрос. Следует помнить, что одна полоса освещена белым светом, в котором смешаны все цветные лучи света, в то время как в другой смешаны только три луча. Случайно выбранный зеленый луч взят из той части спектра, которая поглощается желтым пятном; но все зеленые лучи спектра поглощаются не так сильно, следовательно, в обычном белом свете, в котором присутствуют все зеленые лучи, поглощается лишь небольшой процент всего зеленого в спектре по сравнению с поглощением единственным зеленым лучом, с которым производится сопоставление. Несомненно, оба пятна действительно зеленее, когда глаз воспринимает их изображения за пределами желтого пятна, но одно намного зеленее другого, и таким образом, оно *сравнительно* зеленое. Возможно сопоставить некоторые цвета с сине-зеленым, в которых описанное явление не проявляется; но в случаях, когда необходимо сопоставить цвета, в которых требуется совсем немного синего, это было бы невозможно сделать из-за синего, существующего в таком зелено-голубом луче.

Теперь мы вернемся к нашему смешиванию трех цветов, чтобы получить белый. Почему для его формирования мы выбрали те положения щелей, которые мы сделали в спектре? Разве другие позиции не ответили бы так же? Давайте дадим наш ответ экспериментальным путем. Давайте переместим щель, которая сейчас находится в зеленом цвете, в сторону красного; мы обнаружим, что при этом — сохраняя синюю щель той же ширины — нам придется закрыть красную щель и изменить отверстие самой зеленой щели. Если мы рассуждаем по этому поводу, мы будем вынуждены прийти к выводу, что зеленая щель пропускает больше красного света определенного типа, поскольку для зажигания спички требуется меньше красного от красной щели. Если мы переместим зеленую щель почти в желтовато-зеленую, мы обнаружим, что красная щель должна быть полностью закрыта, и что белый свет формируется из двух цветов, желтовато-зеленого и фиолетового. Это показывает нам, что используемый здесь желтовато-зеленый цвет образован смесью красного и зеленого лучей, прошедших через две щели в их первоначальных положениях. Если мы заменим прорези в этих положениях и закроем фиолетовую щель, мы сразу сможем в этом убедиться.

Если мы снова сформируем белый свет с прорезями в их первоначальных положениях и переместим зеленую щель в сторону синей, мы обнаружим, что при сохранении постоянной апертуры красной щели синюю щель придется закрыть, а ширину зеленой щели изменить. Необходимость уменьшения апертуры синей щели показывает, что через зеленую щель

проходит определенное количество синего света. В какой-то момент, когда щель переходит в сине-зеленую, синяя щель может быть полностью закрыта, и из нее и красного света образуется белый, показывающий, что сине-зеленый цвет состоит из тех же пропорций синего и зеленого, которые прошли через синюю и зеленую щели в их первоначальном положении. Выбранные положения были получены автором в результате экспериментов, проведенных таким образом, при перемещении сначала одной щели, а затем других, и положение зеленой щели было подтверждено рассмотрением нейтральной точки, которая существует в спектре зеленого дальтоника.

Метод смешивания трех цветов вместе дает нам возможность имитировать все виды белого света, как и цветной. На странице 110 мы уже приводили диаграмму относительного количества цветов спектра при солнечном свете, освещении в мансарде и газовом освещении. Если мы каким-либо образом направим пятно света, которому мы хотим соответствовать, на пятно, образованное устройством для окрашивания, и вставим стержень, мы сможем измерить отверстия трех щелей и, таким образом, получить относительные пропорции каждого присутствующего цвета. В ходе проведенного эксперимента таким образом сравнивались солнечный свет, электрическая дуговая лампа и газовый свет. Ниже приведены результаты: красный цвет находится рядом с линией С, зеленый - рядом с линией Е, а фиолетовый - рядом с линией G.

	Солнечный свет.	Электрический свет.	Газовый фонарь.	Световой люк.
Красный	100	100	100	100
Зеленый	193	203	95	256
Фиолетовый	228	250	27	.

Теперь из вышесказанного может показаться, что поскольку три простых цвета спектра дадут нам цвет любого пигмента, то, следовательно, два цвета должны давать нам тот же цвет, что и любые промежуточные простые цвета в спектре, которые лежат между ними; например, что простой сине-зеленый должен быть получен путем смешивания спектрально-зеленого и спектрально-фиолетового цветов вместе. В этом можно убедиться с помощью устройства для одноцветных вставок, вырезав в карточке прорезь, которая заполняет отверстие между двумя регулируемые прорезями, и отклоняя луч, проходящий через нее прямоугольной призмой, обратно на экран через другую подобную призму, как описано в главе VIII. Однако удобнее использовать дублирующее устройство, точно подобное первому, за исключением того, что не требуется коллиматор, при размещении их бок о бок и зеркал, заставляющих отраженный луч от первого проходить через второй набор призм. Будет отраженный луч от второго устройства, который можно использовать так же, как и от первого устройства, и два спектра будут отличаться по яркости, как и новый отраженный луч, поскольку все они сформированы светом, проходящим через одну щель. Пятно промежуточного между ними цвета отбрасывается на экран вторым устройством, и второе пятно от первого устройства перекрывает его. Стержень, размещенный обычным образом, отбрасывает две тени, которые освещаются двумя разными лучами. Если желательно подобрать сине-зеленый цвет, то окажется, что независимо от того, в какой части фиолетового и зеленого расположены прорези, совпадения добиться невозможно. Но если смешать некоторое очень небольшое количество красного света с простым сине-зеленым, то из фиолетового и зеленого цветов первого аппарата можно получить цвет,

идентичный во всех отношениях глазу. Следует помнить, что смесь красного, зеленого и фиолетового образует белый цвет и что они смешиваются в определенных пропорциях. Каким бы слабым по интенсивности ни был белый цвет, пропорции все равно будут одинаковыми. В вышеупомянутом эксперименте, поскольку сине-зеленый цвет должен содержать фиолетовый и зеленый, небольшое количество красного должно сочетаться с надлежащей пропорцией фиолетового и зеленого и образовывать белый свет, так что соответствие получается за счет остатков фиолетового и зеленого, смешанных с небольшим количеством белого света, индикатором которого является красный.

Мы можем проверить истинность этого аргумента очень простым способом. Если мы добавим к цвету, с которым должно быть произведено сопоставление, небольшое количество белого света от отраженного луча, более или менее отсекаемого вращающимися секторами, мы можем получить точный оттенок нечистого сине-зеленого, получаемого смесью цветов, поступающих через две щели; и далее мы обнаружим, что добавленное количество белого соответствует количеству красного, которое потребовалось бы, если учесть компоненты белого света в терминах трех цветов. Следовательно, для цветов спектра между фиолетовым и зеленым можно с уверенностью сказать, что смесь фиолетового и зеленого света не может обеспечить соответствия; но она всегда дает промежуточный цвет, разбавленный белым светом. Для цветов между зеленым и красным спектрами можно добиться очень близкого, если вообще не точного соответствия с помощью красных и зеленых прорезей без добавления белого.

Если мы возьмем из источника света второго аппарата положение фиолетовой щели в первом аппарате сверху, то есть ближе к пределу видимости, то обнаружится, что достигается совпадение, во всяком случае, в значительной степени только с фиолетовой щелью, путем простого уменьшения отверстия, таким образом показывая, что цвет тот же, только менее интенсивный. Точно так же будет видно, что лучи, исходящие из любой точки между нижним пределом спектра и немного ниже линии С, идентичны по цвету.

Поскольку мы пришли к тому факту, что в цветовых смесях фиолетового и зеленого в получаемом цвете присутствует белый свет, из этого следует, что либо фиолетовый, либо зеленый, либо оба сами по себе должны содержать некоторую небольшую долю белого. Возможно, можно было бы сказать, что фиолетовый на самом деле представляет собой смесь красного и синего, и, следовательно, белый в смеси с зеленым; но если в первом аппарате мы поместим одну щель в самый чистый синий цвет, какой только сможем найти, а другую - в красный, и бросим фиолетовое пятно на экран из второго аппарата, мы никоим образом не сможем получить тот же оттенок фиолетового; он всегда будет разбавлен белым. Теперь, поскольку тот самый синий, который мы используем, если он сочетается, как указано выше, с зеленым и фиолетовым, требует добавления к нему белого света, а поскольку для сочетания фиолетового с тем же синим и красным к нему также должен быть добавлен белый свет, из этого следует, что фиолетовый должен быть в любом случае свободнее от белого света, чем синий.

Есть еще один эксперимент, о котором необходимо упомянуть, прежде чем оставить на время эту часть нашей темы, а именно. образование белого цвета смесью желтого и синего. Если одна из щелей будет расположена в желтой части спектра, то в синей будет найдено положение, при котором, если разместить вторую щель и отрегулировать диафрагмы, можно добиться абсолютного совпадения с отраженным белым светом устройства. Этот эксперимент будет упомянут позже, при рассмотрении вопроса об основных цветах.

Приведенные выше эксперименты имеют большое значение для теории цветового зрения и должны быть очень тщательно рассмотрены в связи с укороченным спектром, который, как мы показали, существует, когда люди, страдающие красной дальтонизмом, наблюдают его яркость.

Следует помнить об одном моменте, связанном со смесями трех или двух различных цветов, которые образуют белый свет. Если различные цветные пигменты осветить "искусственным" белым светом, они, как правило, не будут иметь тех же оттенков, что и при просмотре в обычном белом свете. Они будут различаться не только по цвету, но и по яркости. Этого можно ожидать, если принять во внимание спектральный свет, который они отражают.

ГЛАВА X.

Исчезновение цвета из—за белого света - Исчезновение белого света из-за цвета.

В предыдущей главе мы показали невозможность согласования оттенка простых цветов между фиолетовым и зеленым, если к ним не добавить определенное и заметное количество белого света. Теперь мы перейдем к этапу измерения цвета, который существенно поможет нам понять, почему в некоторых случаях добавление белого света к простым цветам спектра, между красным и зеленым, не представляется необходимым для того, чтобы добиться соответствия смеси красного и зеленого.

Мы зададим себе два вопроса: первый: можно ли добавить какой-либо цвет к белому, и если да, то в каком количестве, чтобы он не бросался в глаза? а другой, если таковой имеется, и если да, то в каком количестве, белый свет может быть добавлен к цвету без его восприятия?

Возможно, один из самых простых способов объяснить, что именно мы имеем в виду, - это вращающийся диск. Предположим, у нас есть красный диск диаметром девять или десять дюймов, и на каждый дюйм от центра приклейте к нему белую пластинку диаметром около одной восьмой дюйма и заставьте ее быстро вращаться. При рассмотрении мы обнаружим, что розовые кольца будут образованы сочетанием белого и красного ближе к центру, но ближе к краям кольца видны не будут, конечно, из-за того, что больше красного сочетается с таким же количеством белого. Это показывает, что глаз чувствителен лишь до определенной степени и не может различить очень небольшое снижение чистоты цвета. Интенсивность света как-то связана с количеством этих видимых розовых колец, что легко можно проверить в помещении. Если вращающийся диск поместить рядом с окном и подсчитать количество видимых колец, то при его размещении в темном углу будет видно другое количество. Аналогичный эксперимент заключается в том, чтобы поместить красные круглые пластины на белый диск и отметить видимые кольца. Это повышает чувствительность глаза к уменьшению интенсивности на другом конце шкалы. Будет обнаружено, что между ними существует заметная разница.

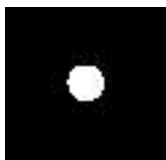


Рис. 32.Диафрагма перед призмой.

Будет более поучительно, если мы поэкспериментируем с чистыми цветами, и поэтому мы должны прибегнуть к нашему прибору для окрашивания, описанному на [рис. 6](#). Если вырезать на карточке небольшое круглое отверстие диаметром около четверти дюйма и поместить его перед призмой, ближайшей к объективу камеры (рис. 32), цветное пятно вместо изображения грани призмы будет изображением круглого отверстия, и когда щель пройдет через спектр, мы получим на экране цветное пятно, на которое мы можем наложить пятно белого света от отраженного луча. Есть два способа, которыми мы можем уменьшить интенсивность пятна: сузив щель, через которую проходит спектральный луч, или поместив вращающиеся секторы перед цветным лучом. Этот последний, пожалуй, самый готовый план, поскольку он включает в себя только чтение сектора. Затем мы можем уменьшить интенсивность цветного пятна до такой степени, что при его разбавлении белым светом оно полностью исчезнет. Будет обнаружено, что красный исчезает при диафрагме сектора, отличной от той, которая требуется для зеленого, а зеленый - от той, которая требуется для синего.

Из наших предыдущих экспериментов в главе VII. мы знаем яркость спектра для глаза, и будет интересно посмотреть, какое отношение имеет яркость, при которой исчезают пятна разного цвета, когда они настолько разбавлены белым светом, к общей яркости этих лучей.

В результате ряда проведенных измерений было обнаружено, что уменьшенные угловые отверстия, требуемые для цветов, указанных ниже, были следующими:

B	требуется	300°	апертуры.
C	"	56°	"
D	"	14°	"
E	"	22°	"
F	"	150°	"
G	"	2100°*	"

Большие числа, отмеченные звездочкой, были получены путем размещения вращающихся секторов перед белым отраженным лучом.

Свет D должен был быть уменьшен до 14 °, прежде чем он был погашен; следовательно, для тушения исходного света этого цвета в спектре потребовалось бы 180/14, или в 12 · 9 раз больше интенсивности белого света отраженного луча. С лампой E потребовалось бы 180/22, или в 8 · 2 раза больше белого света, чтобы погасить ее, и так далее. Если мы сведем результаты в таблицу таким образом и эмпирически примем белый свет, необходимый для тушения лампы D, за 98 · 5, что соответствует его процентной яркости в спектре электрического света, мы сможем сравнить коэффициент тушения со светимостью в каждом конкретном случае.

Цвет.	Белый требуется для того, чтобы погасить Спектр.	Белый требовался для того, чтобы погасить спектр, с 50, как это требовалось при E.	Светимость of спектра.
рядом с линией B	·6	3·9	4·9
C	3·2	19·5	5
20·6	D	12·9	78
98·5	E	8·2	50
50	F	1·2	7·5
7·5	G, 087	·56	·6

Очень близкое сходство между двумя последними столбцами указывает на то, что одинаковая яркость белого света необходима для подавления одинаковой яркости большинства цветов, то есть в пределах видимости. Действительно, метод экстинкции был планом, который попробовали Дрейпер и Виерордт, но результаты, сведенные в таблицу по результатам экспериментов, проведенных ими с используемым ими аппаратом, дают кривую интенсивности, совсем не похожую на ту, что приведена в главе VII. В этих экспериментах была измерена яркость оранжевого света, соответствующая линии D, проходящей через щель, и было обнаружено, что она составляет $37 \cdot 5/180$ от белого света. Теперь, согласно предпоследней таблице, $14/180$ этого света было погашено полностью белым светом, следовательно, $37 \cdot 5/180 \times 14/180$, или $1/62$ оранжевого света, было погашено белым светом. Другими словами, если белого света будет в шестьдесят два раза больше, то последний, когда они смешаются, будет невидим. Для гашения всех цветов требуется несколько больше света, чем это, и расчеты показывают, что гашение каждого цвета осуществляется белым светом, который в семьдесят пять раз ярче цвета. Художники хорошо знают, что бледный слой пигмента может размываться по бумаге для рисования, а при высыхании оставаться невидимым для глаза. Вышеупомянутые эксперименты полностью объясняют это.

Другой эксперимент, который нужно было попробовать, заключался в том, чтобы увидеть, насколько белый свет может быть погашен цветом. Есть несколько способов, с помощью которых это можно осуществить. Например, мы можем наложить белую точку на цветное пятно, поместив карточку, в которой вырезано круглое отверстие, в отраженный луч рядом с призмой, от которой происходит отражение; или поместив черный круглый диск небольших размеров, наклеенный на стекло, в том же положении, что означает, что белый свет накладывается на все цветное пятно, за исключением того, что при отключении цвета становится черным пятном; или снова поместив стержень, чтобы затенить половину пятна от белого света, но оставить все это открытым цветному лучу. Все эти методы были опробованы, и оказалось, что размер участка пятна, на который падает белый свет, может оказывать некоторое влияние на результирующую кривую, но об одном есть свидетельства, а именно. что гораздо больше белого света может быть незаметно смешано с оранжевым светом, чем с зеленым, синим или фиолетовым. В результате одного эксперимента было обнаружено, что $1/36$ часть белого света той же яркости, что и оранжевый, может быть смешана с оранжевым и не восприниматься; но при зеленом свете в точке E $1/90$ будет просто видна, в то время как при F в сине-зеленом можно различить

1/120. Рассматривая эти результаты и применяя их при объяснении экспериментов, в которых предпринимались попытки, но безуспешно, подобрать промежуточные цвета между фиолетовым и зеленым (примером чего является свет в точке F), путем смешивания их вместе, если только к простому цвету не добавлялся белый свет; и успех другого эксперимента, в котором оранжевый свет мог быть получен того же оттенка, что и в точке D, путем смешивания красного и зеленого, можно заметить, что к оранжевому можно добавить в $3 \cdot 3$ раза больше белого света, чем к зеленому свету в точке F, без его восприятия. Белый свет, создаваемый смесью в первом случае, может быть хорошо замечен при смешивании с зеленым, но может остаться совершенно незаметным при смешивании с оранжевым.

ГЛАВА XI.

Основные цвета—Молекулярные колебания—Цветовые ощущения—Ощущения, отсутствующие у дальтоников.

Для некоторых целей полезно показывать эксперименты, прежде чем указывать выводы из них, которые могут привести к теории. Те, которые описаны в главе IX. это позволит нам рассматривать теорию цветовосприятия с некоторой выгодной точки зрения. Как получается, что сочетания трех цветов достаточно для образования белого или для соответствия любым цветам, которые мы желаем, будь то цвета спектра, к которым добавляется немного белого, или цвета пигментов? Наиболее правдоподобная теория, которую можно выдвинуть, заключается в том, что глазу необходимо всего лишь снабдить трехцветный воспринимающий аппарат, чтобы создавать впечатление каждого цвета, и все же в это было бы несколько трудно поверить, если бы перед нами не было экспериментов, описанных в этой главе. Мы должны были бы почти ожидать, что в глазу существует какой-то механизм, который реагировал бы на ритмичное колебание лучей любой длины волны, которые вместе составляют белый свет. Но теперь мы должны встретиться лицом к лицу с результатами эксперимента, и мы обнаруживаем, что для получения белого света необходимо самое большее только три цвета, и что из этих трех цветов спектра мы можем сформировать любые другие, с уже упомянутым ограничением, когда речь идет о некоторых простых цветах.

Здесь мы должны на мгновение отвлечься и обратить внимание на тот факт, что из наших экспериментов мы вывели три основных цвета, как они называются, а именно. красный, фиолетовый и зеленый; определение основного цвета заключается в том, что он не может быть образован смесью каких-либо других цветов. Мы установили, что желтый и синий образуют белый. Следовательно, очевидно, что синий, желтый и красный не могут быть первичными цветами, поскольку два из них образуют белый; и более того, мы показали, что желтый может быть получен из зеленого и красного; следовательно, было бы справедливо предположить, что тремя первичными цветами являются красный, зеленый и синий. Но синий цвет, смешанный с очень небольшим процентом белого света, может быть получен из зеленого и фиолетового. Следовательно, в белом свете, образованном двумя цветами желтым и синим, мы имеем

первый, образованный зеленым и красным, а второй - зеленым и фиолетовым; следовательно, три цвета, которые действительно создают белый свет, - это красный, зеленый и фиолетовый. Приблизительное положение этих трех цветов в спектре уже указано; хотя, как мы сейчас увидим, крайне маловероятно, чтобы какой-либо человек, глаза которого считаются так называемыми нормальными, когда-либо испытывал фундаментальное ощущение зеленого цвета.

Уже упоминался тот факт, что красный, желтый и синий не могут быть основными цветами, поскольку даже сейчас иногда учат, что это так. До тех пор, пока теория цвета в основном принадлежала художникам, были разумные основания для их предположений, поскольку они работали с нечистыми цветами, а именно. те, что относятся к пигментам; и, как мы увидим позже, истинность этого предположения подтверждалась такими экспериментами, которые они могли бы провести. Однако, когда физик занялся этим вопросом с помощью более точных методов экспериментирования и чистых красок, ложность старой триады вскоре была доказана.

Возвращаясь к нашему отступлению: на первый взгляд трудно понять, как три смешанных цвета могут создавать ощущение белого света; но ссылка на действие света на фотографическую соль в некоторой степени помогает нам. В случае чувствительной соли, такой как бромистодид серебра, мы обнаруживаем, что химическое разложение вызывается фиолетовым концом спектра и лишь слабо зависит от любой другой части, хотя при длительном воздействии даже красный цвет вызовет его. Прилагаемый рисунок (рис. 33) дает представление об относительном действии различных частей этой фиолетовой части.

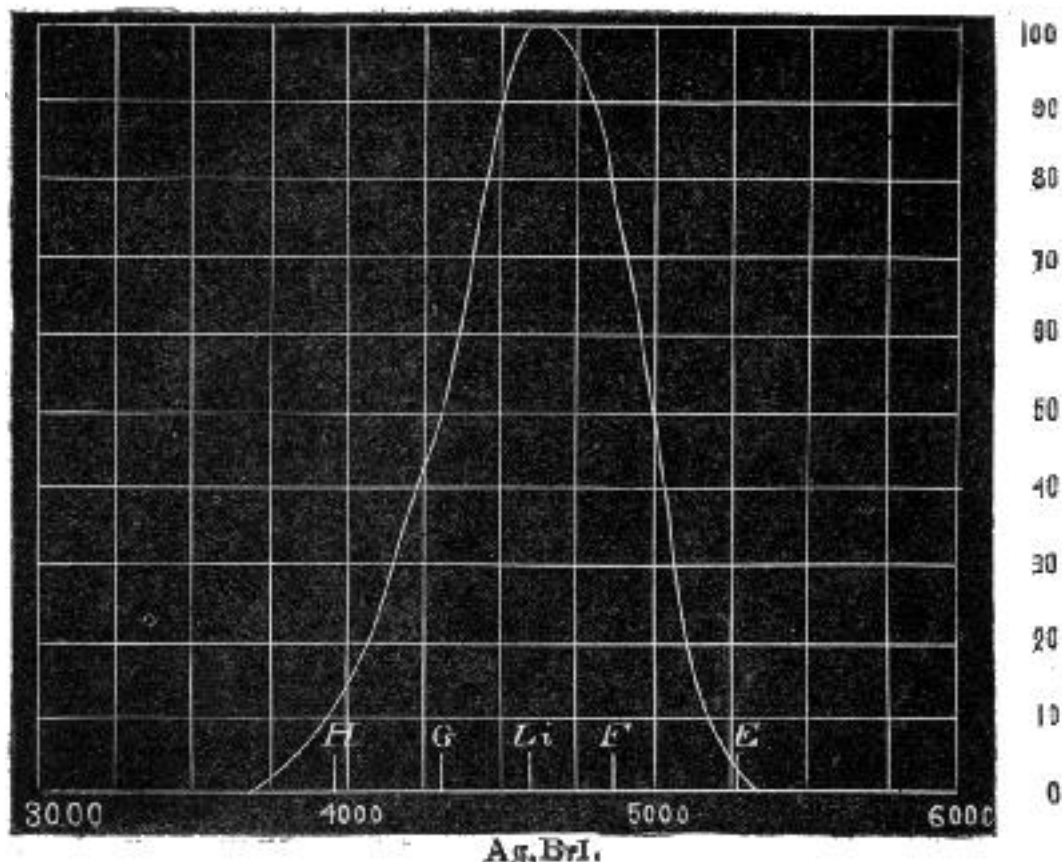


Рис. 33.—Кривая

чувствительности бром-иодида серебра.

Высота кривой показывает относительные произведенные эффекты. Теперь эта кривая не симметрична, но максимальный эффект проявляется ближе к фиолетовому концу спектра, чем к красному. Атомный состав бромидида серебра, вероятно, состоит из двух атомов серебра, одного атома брома и одного атома йода, колеблющихся вместе, и мы можем представить себе какой-то один атом, период колебаний которого в его молекуле изохронен с некоторой длиной световой волны. Далее, мы можем представить, что, подобно маятнику, величина колебаний которого увеличивается при своевременных ударах, колебание атома также увеличивается, и что в конце концов он выходит за пределы сферы притяжения своей родительской молекулы, покидает ее и притягивается к какой-нибудь соседней молекуле другого состава, и что таким образом вызывается химическое изменение. Это мы можем себе представить, но как могут другие волны, которые не изохронны ритмическому колебанию атомов, изменять состав молекулы? Если мы подаем импульс маятнику, точно синхронизированный с периодом колебаний, нет никаких сомнений в том, что размах увеличивается. Если мы получим маятник, находящийся почти в согласии, то обнаружим, что, хотя амплитуда колебаний увеличивается не так сильно, как при совершенном согласии, все же происходит усиление колебания, и по мере того, как точное соответствие удаляется все дальше и дальше, увеличение колебания маятника становится все меньше и меньше. Примерно таким же образом возможно, что множество серий волн, различающихся по длине волны и, следовательно, по периодам колебаний, могут быть способны увеличивать амплитуду колебания, и с фотографической солью это, вероятно, происходит, с результатом, который мы видим на приведенном выше рисунке. Предположим, что в глазу у нас есть три таких чувствительных маятника, которые способны реагировать на

биения световых волн, не требуется большого воображения, чтобы увидеть, что один такой маятник будет реагировать не только на ту световую волну, которая ему изохронна, но и на волны короче и длиннее этой конкретной волны. Один и тот же маятник действительно может реагировать на весь видимый спектр, но при удалении от максимума отклик будет действительно очень небольшим. Следовательно, мы можем предположить, что, хотя у каждого маятника может наблюдаться максимальное усиление колебаний в одной части спектра, однако в других частях не только он один реагирует на биение волн, но и другие маятники также подвержены тому же влиянию, и, таким образом, весь спектр распознается по более или менее продолжительным колебаниям одного, двух или всех трех.

Томасу Янгу обычно приписывают теорию трех цветов, хотя, по-видимому, некоторое время назад она была обнародована в незавершенном виде; Кларк-Максвелл и Гельмгольц возродили ее в последующие годы, и обычно она известна как теория Янга-Гельмгольца. Следует отметить, что три основных цветовых ощущения необязательно являются теми же ощущениями, которые даются тремя основными цветами, как мы увидим далее. Следующий рисунок (рис. 34) взят из "Физиологической оптики" Гельмгольца и представляет собой диаграмму трех ощущений.

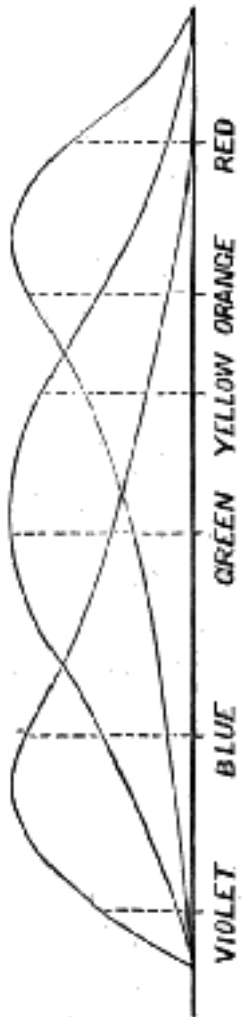


Рис. 34. Кривые цветовых ощущений.

Против этой диаграммы есть возражение в одном отношении, а именно. то, что она придает синему цвету спектра такое же значение яркости, как красному и зеленому. Было замечено, что

если мы назовем яркость желтого 100, то яркость синего составит около 5. Возражение не имеет силы, если вспомнить, что три максимума впечатлений принимаются равными. Если бы ординаты были увеличены так, чтобы максимумы были той же высоты, что и у фотографической кривой, сходство между ними и этой последней было бы очень заметным. Следует заметить, что каждое из трех цветовых ощущений возбуждается не только ограниченной частью спектра, но и всем им целиком, причем высота кривых является мерой их реакции.

Теперь предположим, что это так, поскольку определенная степень стимуляции, подаваемой одновременно на три ощущения, вызывает интегральное ощущение белого света, отсюда следует, что цвет, воспринимаемый в каждой части спектра, обусловлен избыточной стимуляцией либо одного, либо двух основных ощущений вместе с ощущением белого света. Если бы эта диаграмма была правильной, ни в одной точке спектра не возбуждалось бы одно фундаментальное ощущение в одиночку, но мы считаем, что диаграмма, полученная Кенигом (рис. 35) из цветовых уравнений (которые будут объяснены в нашей следующей главе), более точна, и что, вероятно, в экстремально фиолетовой и экстремально красной частях спектра стимулируются только фиолетовые и красные ощущения соответственно. Наши измерения красного и фиолетового цветов спектра позволяют предположить, что каждое из двух ощущений может восприниматься без сопровождения каких-либо других, и тот факт, что человек, страдающий красным дальтонизмом, воспринимает укороченный спектр в красном конце, является еще одним доказательством этого вывода, поскольку речь идет о красном цвете.

Цвет, который вызывает основное ощущение зеленого цвета в нормальном глазу, вероятно, никогда не был замечен и не может быть замечен. Это связано с тем фактом, что все три ощущения накладываются друг на друга в зеленом цвете; то есть маятник, который реагирует на зеленый цвет в спектре, также воздействует, но с гораздо меньшей энергией, на два других маятника, которые реагируют на красные и фиолетовые ощущения.

Слово "маятник" было использовано намеренно, поскольку оно с равным успехом может применяться как к молекулярной агрегации, так и к той, которая видима и измерима. Не вдаваясь в физиологическое строение глаза, мы можем сказать, что обычно предполагалось, что маятники представляют собой концы нервов, которые вибрируют вместе со световыми волнами; но это кажется довольно сомнительным. Грубая материя, какой являются эти концы, по сравнению с молекулами, из которых они состоят, как правило, не может вибрировать вместе со световыми волнами, и, по-видимому, нет причин, по которым в случае с глазом должно быть исключение. Представляется гораздо более вероятным, что в каком-то соединенном с ними веществе происходит химическое разложение, и там, где происходит такое разложение, должно вырабатываться электричество какого-то вида. При других ощущениях тела нервы действуют как телеграфные провода, передающие сообщения в мозг, и не исключено, что нервы глаза задействованы примерно таким же образом. Профессор Дьюар показал, что когда свет воздействует на удаленный глаз, электрический ток действительно проходит по нервам, причем в таком количестве, что его можно показать большой аудитории. Однако этот эксперимент не является окончательным, поскольку следствие может быть ошибочно принято за причину. Эта идея, однако, является лишь гипотетической, как, впрочем, и гипотеза о механическом воздействии света на грубую материю, из которой состоят палочки и колбочки, прикрепленные к сетчатке.

В предыдущей главе мы утверждали, что есть глаза, в которых ощущение определенного цвета полностью отсутствует, а в других глазах оно более или менее недостаточное. Таким образом, у некоторых глаз, по-видимому, полностью отсутствует ощущение красного, у других - зеленого и у некоторых, очень немногих, фиолетового; и известны случаи, когда два ощущения, красное и фиолетовое, полностью отсутствовали. В первом случае, когда ощущение красного полностью отсутствует, то, что нормальному зрению известно как белое, может быть сопоставлено со смесью синего и зеленого, и в спектре есть место, которое распознается как белое. Точно так же зеленый слепой человек может сочетать белый цвет со смесью красного и синего.

Для тех, кому, возможно, будет любопытно увидеть цвет, который краснозеленые слепые называли бы белым, под рукой есть очень простое средство продемонстрировать это. Используя устройство для цветных вставок с тремя щелями, вставленными в предметное стекло, и в положениях, которые мы указали фиолетовым, зеленым и красным, и формируя для себя белый свет на экране, если мы полностью закроем красную щель, мы получим пятно цвета морской волны, которое краснокожий слепой назвал бы белым; и если мы закроем зеленую щель, не включая, конечно, красную, мы получим ярко-фиолетовый цвет, который для зеленоглазого был бы белым. Они оба называли бы белым то, что человек с нормальными глазами видит как белое, по той простой причине, что красный или зеленый, смешанные с остальными цветами, были бы невоспринимаемы. Обследование дальтоников имеет первостепенное значение для проверки любой теории цветового зрения. Например, если бы утверждалось, что основные ощущения не накладываются друг на друга, как показано на диаграмме выше, то из этого следовало бы, что в каком-то месте спектра должна быть темная точка. Если они действительно перекрываются, из этого должно следовать, что и для человека с красным, и для человека с зеленым дальтонизмом должно быть какое-то место в спектре, где излучается то, что для них является белым светом.

Дальтоники были протестированы с помощью цветового прибора. Отраженный луч и цветное пятно были сделаны так, чтобы отбрасывать тени, как и раньше, а вращающиеся секторы располагались на пути первого. Слайд с одной щелью пропускали по спектру, и отмечали положение, в котором говорилось, что две тени были освещены белым светом; человеку с нормальными глазами одна тень, конечно, казалась освещенной цветом морской волны или голубовато-зеленым, в зависимости от того, был ли наблюдатель красным или зеленым дальтоником. Луч в спектре, который для красного дальтоника является белым, имеет длину волны около 4900, а для зеленого дальтоника - 5020, что соответствует положению, в котором мы обычно размещаем зеленую щель, когда человек с нормальными глазами подбирает цвета.

Далее можно отметить, что если максимумы всех трех цветовых ощущений принять, как показано на диаграмме, за равные значения, то место в спектре, где дальтоник воспринимает белый свет, находится там, где два ощущения имеют равную силу, то есть там, где две кривые пересекают одна другую и имеют одинаковую высоту. Определяя пропорции различных цветов у дальтоников, которые составляют то, что для них является белым светом, кривые для двух ощущений могут быть рассчитаны в виде простых уравнений.

Эксперименты, проведенные с дальтониками, носят наиболее интересный характер, и многое еще предстоит сделать с уже полученными от них данными.

В народном сознании дальтоник обычно считается странным существом, и вызывает удивление, если не развлечение, то, что он не может отличить красный цвет вишни от листьев вишневого дерева. Физик, изучающий теорию цвета, смотрит на этот вопрос совершенно

иначе, и он рассматривает разумного наблюдателя такого класса как благо. Можно отметить, что как краснозрячие, так и зеленозрячие люди были бы неспособны отличить вишню от листьев. Человек, страдающий красной слепотой, увидит вишни зелеными, как и листья; в то время как человек, страдающий зеленой слепотой, увидит и то, и другое как красные. Не принимая во внимание форму, вполне вероятно, что слепоглухонемой увидит листья ярко-зелеными, в то время как зеленоглухонемой увидит их более темно-красными, чем вишни. Неспособность провести различие между ними, скорее всего, имеет место в случае с зелеными листьями и красными фруктами, такими как вишня, поскольку в первом содержится заметная доля красного, а во втором - небольшая доля зеленого.

Один высокообразованный джентльмен осознал свой недостаток в восприятии цвета, услышав, как его товарищ по экскурсии пришел в восторг от вида заката. Он увидел лишь небольшую разницу между ним и тем, что можно было увидеть в полдень. Проверив свое зрение, оказалось, что он совершенно слеп к ощущению зеленого, и что белый и фиолетовый цвета, следовательно, будут ошибочно приняты им друг за друга. Багровый цвет облаков, подсвеченный заходящим солнцем, казался бы ему лишь ненамного отличающимся от белых облаков, которые он видел бы в полдень; на самом деле он всегда видел бы то, что для нас было бы закатом. Для этого джентльмена смешивать цвета спектра, чтобы соответствовать другим, очевидно, не было руководством для людей с нормальными глазами.

Мы считаем, что среди нас в нашей повседневной жизни есть много людей, которые слепы к какому-либо цвету, но не осознают этого, а если и осознают, то скрывают свой дефект, насколько это возможно. Мы знаем, что некоторые не осознают этого до позднего периода своей жизни.

Мы говорили, что есть случаи, когда люди имеют дефекты только в восприятии цвета, но не испытывают недостатка в нем вообще. Первые встречаются чаще, чем вторые, и для экспериментатора ни в коем случае не представляют такого интереса. Они упоминаются здесь только для того, чтобы указать на различную степень зависимости цвета глаз. Один момент, который здесь следует помнить, заключается в том, что любое воспроизведение цвета для регистрации с помощью смеси трех цветов является обманчивым, если только глаз оператора не проверен на цветоощущение.

ГЛАВА XII.

Формирование цветовых уравнений—Кривые Кенига—Аппарат и кривые Максвелла.

План получения цветовых уравнений к этому времени станет достаточно очевидным. И мы также можем проиллюстрировать это уравнениями, полученными с помощью аппарата, который мы использовали в наших предыдущих экспериментах. Давайте предположим, что у нас есть человек, который желает проверить свое цветовое зрение, и что у нас есть предметное стекло с тремя щелями *in situ*. Будет обнаружено, что когда мы изменяем их ширину и

формируем с их помощью белый свет, соответствующий по чистоте белому свету отраженного луча, нам придется очень значительно уменьшить интенсивность последнего с помощью вращающихся секторов. Иногда апертура может достигать 4° , а в других случаях, возможно, где-то между 4° и 5° . Теперь разница в апертуре между 4° и, скажем, $4 \cdot 7$, очень значительна, но весьма вероятно, что последнее может быть оценено как $4 \cdot 6$, поскольку на секторах отмечены только градусы. Поэтому становится необходимым использовать для сравнения менее яркий отраженный луч, и это достигается за счет использования в качестве зеркала простого неметаллического стекла. То, что раньше считывалось 4, возможно, будет означать 60, а $4 \cdot 7$ будет равно $70\frac{1}{2}$, в то время как $4 \cdot 6$ будет равно 69, разница легко читаема. Теперь мы можем приступить к работе. Давайте затем поместим красную щель, скажем, на (35) шкале, зеленую - на (28), а фиолетовую - на (17) и добьемся белого света той же интенсивности, изменив отверстия щелей. Давайте сделаем то же самое с щелями в (34), (28) и (17) вместо в (35), (28) и (17); и снова получим белый свет, и аналогично с щелями в (35), (28) и (18); и пусть результаты будут следующими —

$$(1) 20(35) + 60(28) + 40(17) = 100 W$$

$$(2) 10(34) + 55(28) + 40(17) = 100 W$$

$$(3) 20(35) + 59(28) + 10(18) = 100 W$$

Вычитая (1) из (2), получаем—

$$10(34) = 20(35) + 5(28)$$

$$\text{или } (34) = 2(35) + \frac{1}{4}(28)$$

что означает, что цветовое ощущение в (34) состоит из двух частей ощущения в (35) вместе с $\frac{1}{4}$ частью ощущения в (28).

Таким же образом мы обнаруживаем, что цветовое ощущение в (18) складывается из ощущений в (17) и (28).

$$(18) = 4(17) + 1/10(28).$$

Таким образом, все различные цветовые ощущения могут быть отнесены к ощущениям, которые мы, возможно, считаем наилучшим представлением основных ощущений. Что это такое, вопрос до сих пор не решенный; хотя из уравнений, составленных дальтониками, которым для формирования уравнений на самом деле требуются только два цвета, их места приблизительно известны; очевидно, как уже говорилось, луч в спектре, который зеленый дальтоник видит как белый свет, находится там, где для нормального глаза основное ощущение зеленого цвета является наиболее чистым, поскольку оно свободно от преобладания любого из двух других ощущений, и может быть принято за стандартный цвет. Теперь, если наша кривая яркости верна и если сумма яркостей каждого цвета в отдельности равна яркости цветов при смешивании (что мы показали в главе VII), из этого следует, что правильность измерений можно проверить, используя ширину щелей в качестве множителей яркостей. Затем эти яркости можно сложить вместе, и они должны быть равны по яркости белому свету, с которым было произведено сравнение. Полученные результаты можно сравнить, приведя уравнения к одному и тому же стандарту белого света.

Ниже приводится ряд наблюдений, подтверждающих это.

Красная и фиолетовая щели в этом случае были сохранены на значениях 35 и 17·8 по шкале, а положение зеленой щели изменилось.

Расположение прорезей.			Отверстие прорезей.			Яркость цвета.			Сумма Орость из каждого цвета умножается на диафрагму.
Р	Г	В	Р	Г	В	Р	Г	В	
35	28·5	17·8	115	38	112	18·1	73	·65	4930
35	28·0	17·8	119	45	100	18·1	61·5	·65	4989
35	27·75	17·8	122	52	85	18·1	52	·65	4960
35	27·35	17·8	125	65	74	18·1	40	·65	4907
35	27·0	17·8	128	78	67	18·1	33·2	·65	4954
35	26·3	17·8	133	125	40	18·1	20·3	·65	4987
35	26·0	17·8	134	150	10	18·1	16·7	·65	4952
35	25·85	17·8	135	170	0	18·1	15·0	·65	4993
									значит 4959

Красная щель находилась в точке спектра между С и красной линией лития и, вероятно, вызывала фундаментальное ощущение только красного цвета. Фиолетовая щель была близка к G, и, вероятно, в этом случае возбуждалось почти только основное ощущение фиолетового. С зеленой щелью было наоборот, возбуждались все три основных ощущения. При 26 · 3 ощущение зеленого цвета, вероятно, было основным ощущением, смешанным только с белым светом, поскольку в этот момент зеленоглазый человек видел белый свет в спектре, на красной стороне которого было то, что он описывает как теплый цвет, а на фиолетовой стороне - холодный цвет.

Ознакомление с таблицей покажет, насколько точно сумма светимостей согласуется между собой, причем образуемый ими белый свет в каждом случае имеет одинаковую интенсивность. Следует помнить, что белый свет не является необходимым для формирования цветовых уравнений; цвета могут быть смешаны для получения любого другого цвета, который может быть принят за стандарт. Это часто бывает полезно в случае света между фиолетовым и синим, когда светимость невелика по сравнению со светимостью зеленого, желтого и красного цветов.

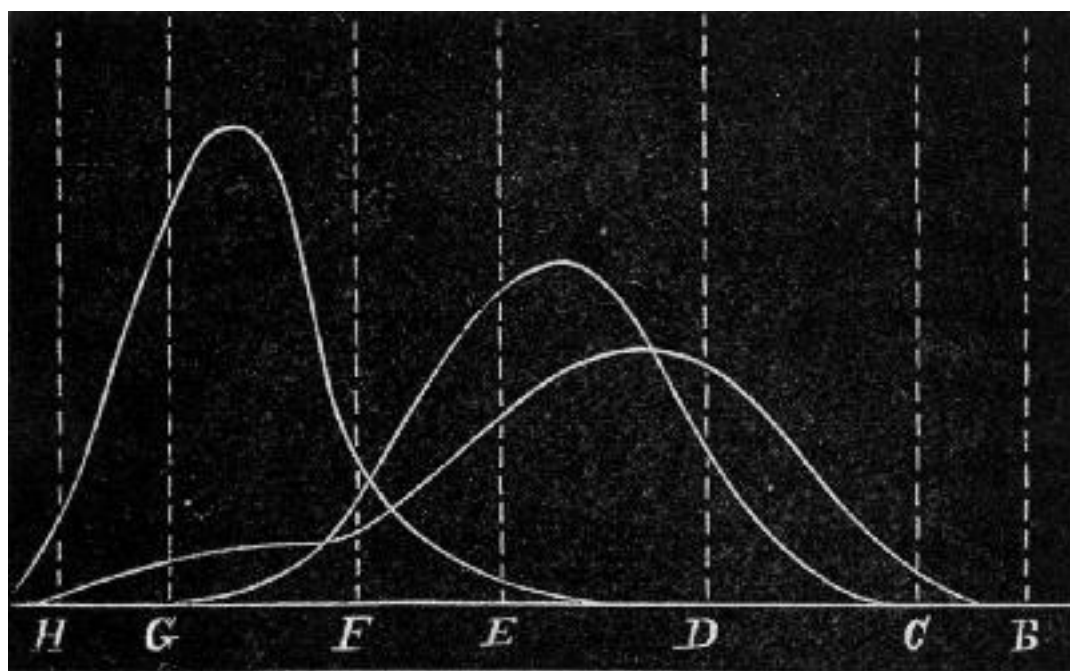


Рис. 35. Кривые

цветовых ощущений Кенига.

Используя большое количество цветовых уравнений, Кениг, работающий в лаборатории Гельмгольца, вывел то, что он считает кривыми трех основных ощущений у человека с нормальным зрением, а также у дальтоника. Можно сказать, что у дальтоника видны только два основных ощущения, и, следовательно, обнаруживаются только две кривые, и что они в основном согласуются с некоторыми двумя из трех кривых, принадлежащих людям с нормальным зрением.

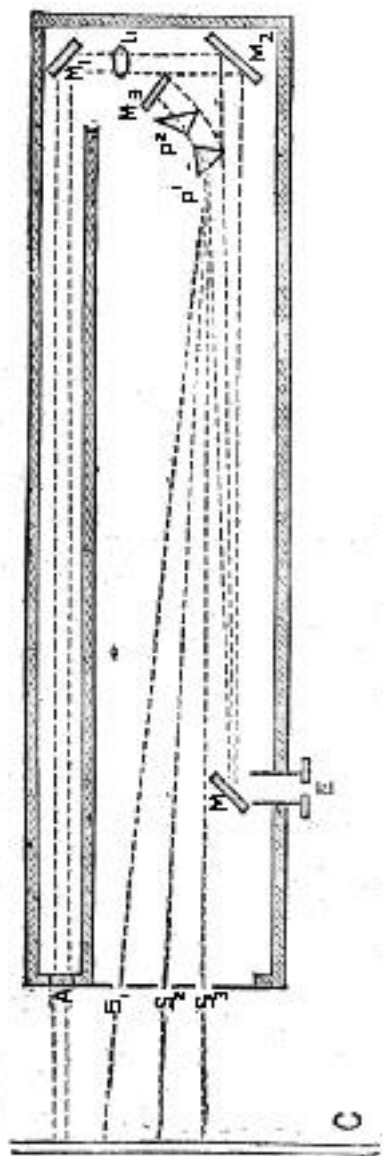


Рис. 36. Раскраска Максвелла.

Максвелл был первым, кто создал определенный аппарат для получения цветовых уравнений, и мы воспроизводим из его статьи в *"Философских трудах Королевского общества за 18—й год"* его несколько измененную схему.

Этот прибор часто называют цветовой шкалой Максвелла, и на самом деле он представляет собой перевернутый спектроскоп. С помощью коллиматора и призм мы формируем спектр на фокусирующем экране камеры (рис. 6) за счет света, проходящего через щель, и мы можем получить свет на удаленном экране, пятно любого цвета, поместив в щели спектра, как показано на рис. 30. Если бы мы осветили расположенные таким образом щели белым светом и посмотрели через щель коллиматора, мы увидели бы, что передняя поверхность первой призмы освещена смесью цветов, которые при попадании света через щель коллиматора образовали бы на экране одно цветное пятно. В Максвелла аппарата, разрезы S_1 , S_2 , S_3 освещаются светом, отраженным от белой карты с, помещенной на солнце, лучи, проходящие через них приходятся на две призмы P_1 , P_2 , отражается обратно через эти призмы с помощью вогнутого зеркала M_3 , полученные на другого зеркала m и падения $B E$ на глаз. В точке A находится отверстие в

коробке, пропускающее белый свет на к зеркалу M_1 , которое отражает его через линзу L на M_2 , которая снова отражает его на M , и, таким образом, к глазу в точке E . Таким образом, в точке E видны изображение призмы и изображение отверстия, и белый свет последнего можно сравнить со смесью цветов, образованных призмой, проходящей через S_1 , S_2 и S_3 .

Предположим, у нас есть одна щель S_1 , белый свет будет разложен призмами и будет виден в точке E как свет того же цвета, который был бы виден в точке S_1 , если бы свет направлялся от E к S_1 , и так с другими щелями. Таким образом, когда две или три щели открыты, свет, падающий на глаз в точке E , будет представлять собой смесь двух или трех цветов.

У используемого режима освещения есть два недостатка: первый заключается в том, что качество солнечного света варьируется, и, следовательно, цветовые уравнения не будут точно сопоставимы друг с другом; и второй заключается в том, что свет, отраженный от карты, не абсолютно одинаков во всех направлениях, и его нельзя расположить перпендикулярно каждому из лучей, падающих на призмы, после прохождения через разные щели. Последнее является небольшим возражением и не имеет большого значения, но первый недостаток более серьезен.

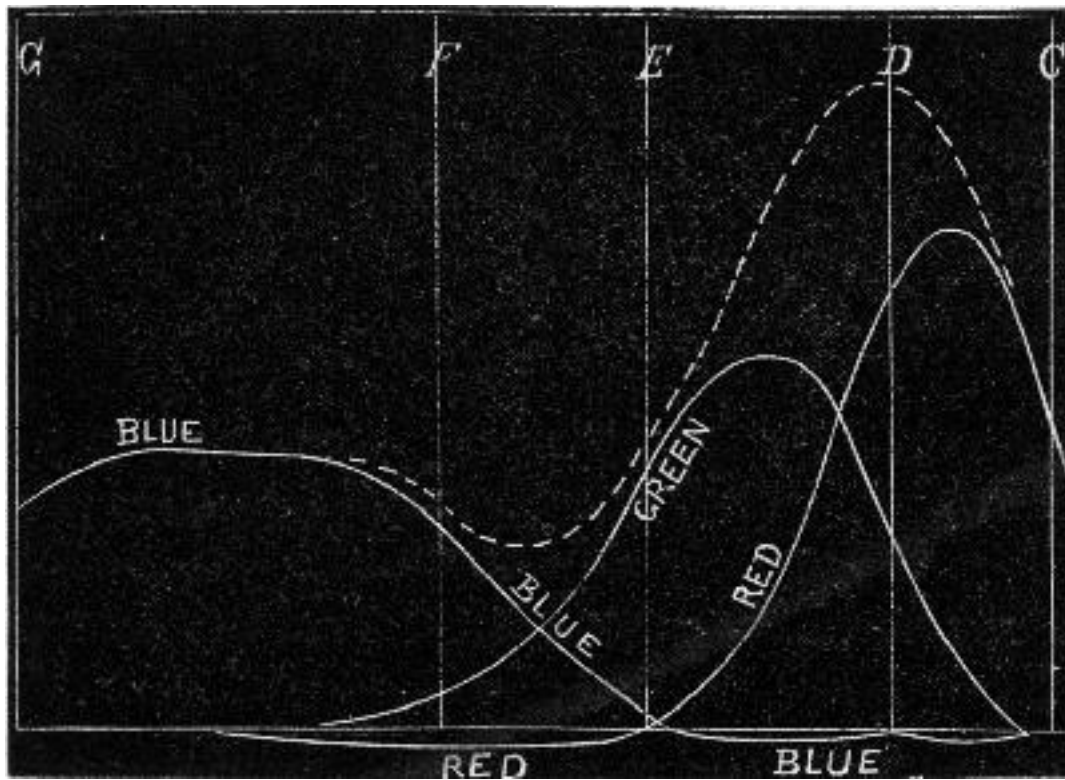


Рис. 37. Кривые

цветовых ощущений Максвелла.

Таким образом, с помощью этого аппарата Максвелл составил свои цветовые уравнения, но он определил в качестве цветов, которые можно назвать его стандартными цветами, части спектра, которые, безусловно, не являются чистыми, и, следовательно, он получил кривые, которые не так совершенны, как у Кенига.

Будет видно, например, что его красная и фиолетовая кривые не перекрываются, а соприкасаются друг с другом около Е. Если бы это было правдой, человек с зеленым дальтонизмом должен был бы видеть темное пространство в спектре, поскольку в таких глазах отсутствует ощущение зеленого. На самом деле яркость спектра на данный момент очень значительна для такого человека.

Также будет видно, что некоторые из его кривых являются отрицательными кривыми, лежащими ниже основания. Это показывает, что три стандартных цвета, которые он выбрал, несколько неправильны. Пунктирная кривая показывает комбинацию его трех ощущений в каждой точке и должна быть кривой яркости; но из-за того, что он эмпирически принял определенные стандарты яркости для своих трех цветов, она не отражает истину, как можно видеть при сравнении [рис. 11](#), стр. 79.

Следует помнить, что со времени наблюдений Максвелла над этим предметом много экспериментировали, и, естественно, усовершенствованные приборы и более обширные знания позволили выработать относительно него более близкие к правильным взгляды.

ГЛАВА XIII.

Сопоставление сложных цветов с простыми цветами — Все цвета сведены к числам — Метод сопоставления цвета с цветом спектра и белым светом.

Если мы поместим раствор бихромата калия перед щелью коллиматора, мы увидим, что при создании спектра на экране проходят все лучи от красного до желто-зеленого; следовательно, бихромат калия передает цвет, который является составным цветом.

Было показано, что этот оранжевый цвет и спектральный желтый могут быть подобраны путем смешивания простых цветов красного и зеленого вместе; но будет поучительно посмотреть, можно ли найти простой цвет в самом спектре, который может соответствовать такому сложному цвету, как у бихромата.

Если мы поместим бихромат в отраженный луч устройства для нанесения цветных пятен и осветим одну тень, отбрасываемую стержнем, пропускаемым им светом, и проведем щель вдоль спектра, чтобы получить монохроматический свет, которым освещается другая тень стержня, будет найдено положение вблизи оранжевой натриевой линии "D", где два цвета, по-видимому, совпадают во всех отношениях; когда интенсивности двух освещенных теней, как и прежде, уравнены вращающимися секторами. Точно так же, заполнив часть квадрата пигментом, на который падает тень, освещенная отраженным лучом, мы можем увидеть, сможем ли мы подобрать изумрудно-зеленый, цианиновый синий и другие цветные пигменты.

Однако часто — чаще всего - необходимо разбавлять цвет спектра, отбрасываемый на белую половину пятна, следом белого света. Ссылаясь на наши предыдущие эксперименты, мы приходим к тому, что может показаться неожиданным результатом: *независимо от того, каким*

может быть цвет, мы можем отнести его к одному лучу спектра вместе с определенным процентом добавленного белого света. Следует отметить, что место в спектре, где совпадают простой и сложный цвета, варьируется в зависимости от вида света, которым освещается пигмент. Это мы можем показать очень простым способом.

Для людей, которые полностью не различают цвета в одном ощущении, а именно. зеленый или красный, сопоставление сложного цвета с простым в спектре не должно вызывать трудностей. Принимая трихромную теорию трех ощущений для человека с нормальным зрением, очевидно, что у человека с нормальным зрением, у человека с зеленым дальтонизмом и у человека с красным дальтонизмом возможны только следующие классы ощущений -

Нормальный глаз.	Зеленый дальтоник.	Красный дальтоник.
Красный	Красный	—
Зеленый	—	Зеленый.
Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый.
Смеси красного и зеленого	—	—
Смеси красного и фиолетового	Смеси красного и фиолетового	—
Смеси зеленого и фиолетового		Смеси зеленого и фиолетового.
Смеси красного, зеленого и фиолетового		—

Если мы возьмем в качестве разновидности дальтонизма человека, страдающего зеленой дальтонизмом, мы увидим, что каждый цвет в спектре должен быть либо чисто красным, либо фиолетовым, либо эти цвета смешаны с большим или меньшим количеством белого света, поскольку эти два ощущения при возбуждении в определенных пропорциях дают ощущение белого. В одном месте, которое обычно называют нейтральной точкой, пропорции двух цветов таковы, что производимое там впечатление является только белым; отсюда следует, что между этой нейтральной точкой и каждым концом спектра лучи представляют собой смеси фиолетового и белого, или красного и белого, причем разбавление цветов варьируется от отсутствия белого до полного белого. Поскольку каждый сложный цвет должен представлять собой смесь одних и тех же двух цветов в определенных пропорциях, из этого следует, что зеленый дальтоник может сопоставить каждый сложный цвет с каким-то одним лучом спектра, и что каждый цвет для него должен быть либо красным, либо фиолетовым, разбавленным разными пропорциями белого света.

Точно так же человек, страдающий дальтонизмом по отношению к красному, может также сопоставить любой цвет с одним цветом спектра, и он увидит его как зеленый или фиолетовый, разбавленный более или менее белым светом. Это легко понять, но не совсем ясно, как любое цветовое ощущение, ощущаемое нормальным глазом, может быть отнесено к спектру.

Если мы возьмем три луча в спектре — один в красном диапазоне между C и красной линией Лития, которую мы будем называть R , другой в зеленом диапазоне между F и b , который мы будем называть G , и третий в фиолетовом диапазоне вблизи G , но на H стороне от него, и который мы можем назвать V — тогда, изменяя их интенсивности (что эквивалентно изменению

яркости) и смешивая их, мы можем произвести на глаз то же впечатление, что и любой сложный цвет; и что дает любой промежуточный простой цвет спектра, если его очень слегка разбавить водой. Белый свет. Используя те же три цвета, но в разных пропорциях, мы также можем создать у глаза впечатление белого света. Промежуточные цвета спектра между зеленым и фиолетовым лучами, выбранные при незначительном разбавлении, имитируются путем смешивания этих лучей вместе в разных пропорциях, и аналогично цвета, находящиеся между красным и зеленым, путем смешивания этих лучей в разных пропорциях — и в спектре присутствует некоторый луч, который при очень незначительном разбавлении белым светом оказывает на глаз такой же колористический эффект, как смеси пар v и b , а также G и R , в любых пропорциях.

Пусть яркости лучей R , G и V , которые создают впечатление белого света, равны единицам a , b и c соответственно, а p , q и r — тем, которые придают цвет, который должен быть зарегистрирован и воспроизведен. Затем мы получаем следующие уравнения, где W — белый, w — его яркость, Z — цвет и z — его светимость —

$$aR + bG + cV = wW \text{---(i.)};$$

$$pR + qG + rV = zZ \text{---(ii.)};$$

Тогда, очевидно...

$$(a + b + c) = w; \text{ и } (p + q + r) = z.$$

$$\text{Пусть } p = \alpha a, q = \beta b, r = \gamma c,$$

Тогда мы можем записать (ii.) как—

$$\alpha aR + \beta bG + \gamma cV = zZ \text{---(iii.)}.$$

Теперь либо α , β , либо γ должно быть меньше двух других. В качестве примера, если α наименьшее, мы умножаем (i.) на α , когда получаем—

$$\alpha a p + \alpha b G + \alpha c V = \alpha w W \text{---(Ив.)}$$

Вычитая (Ив.) из (iii.) и мы получаем—

$$(\beta - \alpha) b G + (\gamma - \alpha) c V = z Z - \alpha w W \text{---(Ив.войны)}.$$

Итак, уже было указано, что между V и G есть некоторый луч, который дает такое же ощущение цвета, смешанное с очень небольшим количеством белого света, что и вышеупомянутая смесь V и G — назовем ее X и ее светимость x [x очевидно равна $(\beta - \alpha)b + (\gamma - \alpha)c$], а μ — светимость добавленного небольшого количества белого.

$$\text{Тогда получаем } zZ = xX + (\mu + \alpha) W.$$

Здесь мы имеем цвет Z в терминах одного луча и белого света.

То же самое справедливо, когда в (ii.) γ меньше, чем α и β ; но этого не произойдет, если окажется, что β наименьший, поскольку нет такой части спектра, которая содержит простые цвета, дающие глазу такие же ощущения, как смеси красного и синего. Существует, однако, очень простой способ, с помощью которого можно добиться регистрации такого цвета (который, следует отметить, должен быть фиолетового тона). Это может быть зафиксировано его дополнением. Для этого мы должны добавить к (ii.) определенное количество R и V , которые

сделают все белым. Таким образом, предположим, что в (iii.) α больше, чем γ и γ чем β , тогда мы должны добавить $\phi bG + \theta cV$ и мы имеем

$$\alpha ar + (\beta + \phi) bG + (\gamma + \theta) cV = z = z + \phi bG + \theta cV \text{ резюмируем;}$$

но $(\beta + \phi)$ и $(\gamma + \theta)$ равны $\alpha \therefore n = \alpha ж.$

$$\therefore z + \phi bG + \theta cV = \text{амировой войны.}$$

Теперь между V и G в спектре есть какой-то единственный цвет, который создает ощущение смеси G и V . Пусть это будет X со светимостью x вместе с белым, светимость которого равна μ , что должно равняться $(\phi b + \theta c)$.

$$\therefore z + x'X' + \mu'W = \alpha wW$$

$$Z = (\alpha w - \mu')W - x'X'$$

который опять же является цветом, выраженным в терминах белого света, за вычетом дополнительного цвета. Таким образом, мы пришли к очень простому выводу, что оттенок и яркость любого цвета, каким бы сложным он ни был, могут быть зарегистрированы по отношению к белому свету и одному лучу спектра.

На практике этот доминирующий луч найти очень легко. Предположим, мы хотим численно определить цвет сигнально-зеленого стекла при электрическом освещении, мы должны поступить следующим образом —

Используется устройство для определения цвета (описано в главе IV.), и цветное стекло помещается между посеребренным зеркалом, которое отражает луч, уже отраженный от первой поверхности первой призмы устройства для определения спектра, и экраном, и с помощью линзы на экране формируется квадратное изображение этой поверхности призмы, показывающее оттенок стекла. К этому изображению прикасается квадратное пятно белого света, образованное повторным сочетанием спектра с помощью другой линзы. Непрозрачное предметное стекло с регулируемой прорезью перемещают по спектру способом, описанным в упомянутой главе, до тех пор, пока цвет этого последнего пятна не станет примерно того же оттенка, что и у стекла.

На пути отраженного луча, но между призмой и посеребренным зеркалом, вставлен кусок простого стекла, который может быть изготовлен таким образом, чтобы отражать часть луча в пятно света спектрального диапазона, при этом квадратное пятно белого света формируется с помощью третьей линзы. Таким образом, мы имеем монохроматический свет, смешанный с белым светом. Требуемая интенсивность добавляемого белого света может регулироваться с помощью вращающихся секторов, как описано в той же главе, которые открываются и закрываются по желанию во время вращения, и общая яркость смешанных лучей может быть изменена с помощью этого вместе с регулируемой щелью в слайде. Вероятно, щель придется переместить в спектре, чтобы оттенок этих смешанных источников света был таким же, как у стекла, но путем пробного анализа легко определяется положение луча, цвет которого при разбавлении белым обеспечивает совпадение. Отмечается положение щели в спектре, а также апертура секторов. Затем измеряют относительную яркость луча, отраженного от простого стеклянного зеркала, и цветного луча, помещая стержень на пути двух лучей и выравнивая по секторам яркость теней, которые освещаются, одной спектральным лучом, а другой белым светом. Когда отмечена секторная апертура, регистрация завершена в том, что касается

оттенка, но яркость луча, прошедшего через стекло, следует сравнить с яркостью отраженного луча, а затем также регистрировать яркость.

Если речь идет о цвете пигмента, луч, отраженный от посеребренного зеркала, падает на пигментированную поверхность, и применяется та же процедура.

Если необходимо зарегистрировать (скажем) фиолетовый бокал, мы действуем немного по-другому. Пятно цветного света, проходящего через фиолетовое стекло, накладывается поверх пятна спектра, и щель на предметном стекле перемещается до тех пор, пока не будет найден луч, который будет излучать белый свет при наложении на цвет стекла. Яркости этого белого света, отраженного луча и спектрального цвета сравниваются "между собой", и тогда имеется достаточно данных для числовой регистрации.

Цветные стекла, предназначенные для использования в ночное время с маслом или газом, или пигменты, которые будут видны при таком освещении, должны быть зарегистрированы в этих источниках освещения. Поскольку цвета спектра всегда одинаковы, удобно использовать спектр электрического света, и единственным изменением в приборе является использование двух газовых ламп для освещения двух квадратных отверстий, перед одним из которых помещается стекло, цвет которого необходимо измерить. Изображения этих отверстий выводятся на экран, цветное изображение соприкасается с квадратным изображением спектрального цветного пятна, а голое изображение - с последним. Проводятся те же определения, что и только что описанные.

Ниже приведены определения некоторых стекол—

Измеренные очки.	Длины волн доминирующего луча.	Процент белого света.	Процент яркости света, прошедшего через стекло.
Рубиновый	6220	2	13·1
Канареечный	5850	26	82·0
Бутылочно- зеленый	5510	31	10·6
№ 1 Сигнальный зеленый	4925	32	6·9
№ 2 Сигнальный зеленый	5100	61	19·4
Кобальтовый	4675	42	3·75

Ниже приведены определения некоторых цветных пигментов—

Цветные бумаги.	Длины волн доминирующего луча.	Процент белого света.	Процент яркости, белая бумага равна 100.
Киноварь	6100	2·5	14·8

Изумрудно-зеленый	5220	59·0	22·7
Французский ультрамариновый синий	4720	61·0	4·4
Коричневая бумага	5940	50·0	25·0
Коричневая бумага	5870	67·0	19·5
Оранжевый	5915	4·0	62·5
Желтый хром	5835	26·0	77·7
Сине-зеленый	5005	42·5	14·8
Эозиновый краситель (<i>Sporting Times</i>)	6400	72·0	44·7
Кобальт	4820	55·5	14·5

ГЛАВА XIV.

Дополнительные цвета—Дополнительные цвета пигментов —Измерение дополнительных цветов.

Теперь мы можем перейти к вопросу о дополнительных цветах, который представляет первостепенный интерес для художников. Дополнительный цвет в самом строгом смысле этого слова может быть описан как цвет, который в сочетании с цветом, который требуется дополнять, составляет белый. В этом определении мы должны учитывать три характеристики, а именно. оттенок и яркость, а также разбавление белым светом. В качестве примера того, что мы имеем в виду, мы ссылаемся на эксперимент, который был проведен и описан на странице 125. Было сказано, что если фиолетовую щель поместить в определенное положение в синей части спектра, то можно переместить зеленую щель в часть желтого, так что два цвета при смешивании вместе образуют белый. В этом случае синий цвет дополняет желтый, а желтый - синий, при условии, что интенсивности соответствуют интенсивности белого света. Опять же, если требуется, чтобы свет, проходящий через три щели, составлял белый свет, будь то белый цвет электрического или газового освещения, мы можем получить дополнительный цвет света, проходящего через любую из них, закрыв эту щель. Таким образом, предположим, что щели находятся в нормальном положении, дополнительным цветом красного является зелено-голубой, образованный смесью фиолетового и зеленого лучей, дополнительным цветом зеленого является фиолетовый, образованный смесью красного и фиолетового света, в то время как дополнительным цветом фиолетового является зеленовато-желтый, образованный смесью красного и зеленого лучей. Будет очевидно, что, поскольку интенсивности трех лучей соответственно будут различаться в зависимости от того, какой белый свет соответствует электрическому или газовому, дополнительные цвета в первом будут отличаться по оттенку и интенсивности от цветов во втором.

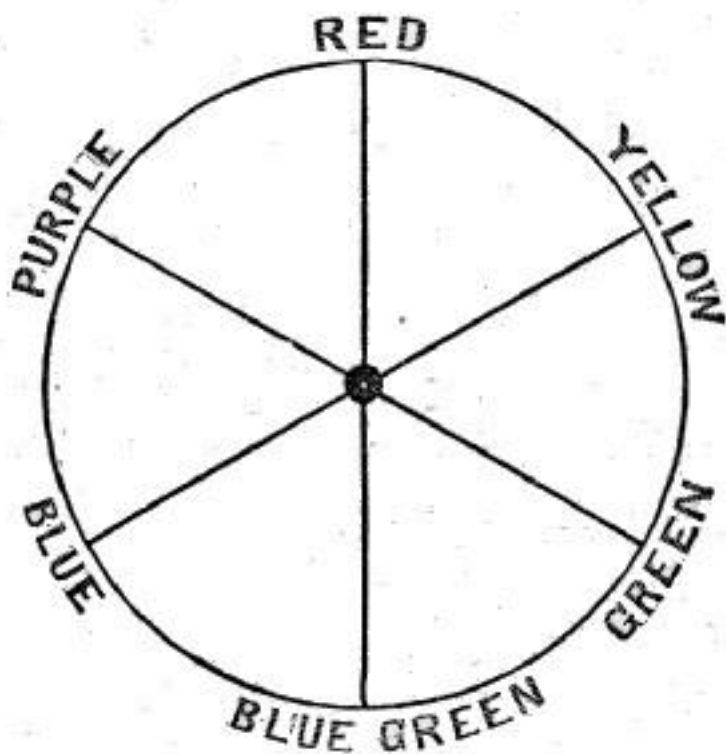


Рис. 38.—Хроматический круг.

Еще пара поразительных экспериментов, которые автор придумал, чтобы показать, что эти цвета можно провести с помощью аппарата color patch и по тому же принципу, который используется для получения интенсивности лучей, отраженных от пигментов и проходящих через цветные прозрачные тела. Вместо маленькой щели с прямоугольной призмой спереди для отклонения луча от верхнего спектра, где создаются два спектра (см. Рис. 16, стр. 95), используется один спектр с прямоугольной призмой такого размера, что она отклоняет половину его, которая снова отражается на экране зеркалом и через линзу для формирования второго пятна такого же размера, что и неотраженный луч. Стержень может быть размещен на пути лучей таким образом, чтобы образовались две цветные полосы вместе с белой полосой, образованной их наложением. Две цветные полосы дополняют друг друга. Перемещая призму вдоль спектра, можно образовать различные цветные полосы, в некоторых случаях одна из которых гораздо менее яркая, чем другая, и все же они дополняют друг друга. Если вместо большой прямоугольной призмы использовать призму меньшего размера, то дополнительный цвет, обусловленный небольшой частью спектра, может быть показан таким же образом.

Обычно дополнительные цвета изображаются на диаграмме с помощью так называемого хроматического круга. Примерно это нарисовано так, как показано на приведенном выше рисунке (рис. 38). Три цвета, красный, зеленый и синий, которые приняты за основные цвета, расположены по кругу на расстоянии 120° друг от друга, и от них через центр, в котором, как предполагается, расположен белый, проведены линии. Там, где эти линии пересекают окружность, помещается дополнительный цвет. Другие цвета могут быть размещены по кругу так, чтобы их дополнительные цвета были противоположны, и таким образом можно составить довольно полную диаграмму спектра. Но следует помнить, что на самом деле это не имеет научной ценности, поскольку не дает представления ни о яркости цветов спектра, ни о количествах, которые должны быть смешаны вместе для образования дополнительных

компонентов. Такой круг, однако, удобен в качестве своего рода *памятной техники* и может быть заполнен в соответствии с фантазией наблюдателя.

Ниже приведены пары наиболее тщательно подобранных дополнительных цветов пигментов в соответствии с рекомендациями профессора Черча.

<i>{ Вспомогательные вещества.</i>	<i>Пигменты.</i>
Красный	Марено-красный или малиново-киноварный.
и	
Зелено-голубой	виридиан, изумрудный оксид хрома с небольшим количеством кобальта.
{	
Оранжевый	Кадмиево-желтый, насыщенного оранжевого оттенка.
и	
Зеленовато-голубой	Кобальтово-зеленый.
{	
Оранжево-желтый	Кадмиево-желтый или темно-хромовый.
и	
Бирюзовый	рулий, или кобальтово-синий, с небольшим количеством изумрудно-зеленого.
{	
Желтый	Лимонно-желтый, бледно-хромовый или ореолиновый.
и	
Синий	ультрамарин из лазурита.
{	
Зеленовато-желтый	ореолин с небольшим привкусом виридиана.
и	
Фиолетово-голубой	французский ультрамарин.
{	
Зелено-желтый	Лимонно-желтый с примесью изумрудно-зеленого.

и		
Фиолетовый		французский ультрамарин с мареновым кармином.
{		
Желтовато-зеленый		Лимонно-желтый с большим количеством изумрудно-зеленого.
и		
Пурпурно-фиолетовый		кармин марены с французским ультрамарином.
{		
Зеленый		Изумрудно-зеленый с лимонно-желтым.
и		
Фиолетовый		кармин марены с французским ультрамарином.
{		
Изумрудно-зеленый		Только изумрудно-зеленый.
и		
Красновато-фиолетовый		кармин марены с небольшим количеством французского ультрамарина.

Поскольку эти пары пигментов дополняют друг друга, из этого следует, что при смешивании в надлежащих пропорциях они должны давать серый цвет, который будет неотличим от серого, полученного при совместном вращении черного и белого секторов. (См. [главу. XV.](#))

Вероятно, случится так, что на диске потребуется значительно больше одной из пар цветов, чем другой, и, предположив, что каждая из двух пар цветов используется с максимальной яркостью, на которую способны пигменты, следует, что на диаграмме, где равные области заполнены пигментами в качестве взаимодополняющих, необходимо использовать некоторые средства для придания истинной глубины тона каждой из них. Смесь белого усиливает яркость любого из них, или примесь черного снижает ее, но часто изменяет оттенок.

Одним из самых прекрасных методов наблюдения дополнительных цветов является использование поляризации света, которую нам нет необходимости описывать подробно. То, что известно как шистоскоп Брюке, пожалуй, одно из самых удобных. Призма Dove из исландского шпата также полезна, когда необходимо нанести на бумагу два пигмента, чтобы

они дополняли друг друга. Два квадрата пигментированной бумаги кладутся рядом, и на каждом из них образуется по два изображения. Можно заставить одно изображение одного цвета перекрывать второе другого, и если два изображения при наложении кажутся серыми, они дополняют друг друга. Если одного цвета получается слишком много, его необходимо приглушить до образования серого. Это очень простой прибор, который окажется очень удобным для экспериментов с пигментами. Когда правильный оттенок каждого из них обеспечен таким образом, можно провести дальнейший тест, разделив окрашенные поверхности на сектора и вращая их вместе, когда, если призма с двойным изображением дает правильные результаты, угловое отверстие секторов должно составлять 180° каждое, чтобы соответствовать серому цвету, полученному в результате смешивания черного и белого.

Мы уже показали, как можно найти комплементарные цвета спектра; вопрос в том, можем ли мы найти комплементарные пигменты по спектру? Есть один очень очевидный способ. Мы можем поместить три щели в спектр, как указано в главе IX, и сопоставить по интенсивности белый свет отраженного луча, а также отметить отверстия щелей. Затем мы должны поместить в отраженный луч пигмент, дополнительный цвет которого требуется, и сопоставить его цвет со светом из трех щелей, сохраняя для удобства белый свет, падающий на пигментированную поверхность, неизменной интенсивности, и снова отметить отверстия. Если мы вычтем последние измерения из первых, разница в диафрагме даст дополнительный цвет. Таким образом, было обнаружено, что при наличии щелей в определенном положении в спектре для получения белого света требуются следующие отверстия в сотые доли миллиметра:

(1) {

Красный	165
Зеленый	60
Фиолетовый	100

Изумрудно-зеленый цвет был нанесен на пластырь и соответствовал свету из трех щелей, когда было обнаружено, что для этого требуется

(2) {

Красный	4
Зеленых	35
фиолетовых	25

Вычитая одно из другого, мы получаем в качестве дополнительного цвета,

(3) {

Красный	125
Зеленый	25
Фиолетовый	75

Это дополнительный цвет, но, как и сам зеленый, он смешан с белым светом; но мы можем легко определить, какой цвет является простейшим дополнительным, поскольку нам нужно только вычесть возможный белый свет из второго измерения. Теперь очевидно, что наибольшее количество белого света получается, когда весь зеленый берется как составляющая его часть, с

соответствующими пропорциями красного и фиолетового, и их мы можем получить, взяв пропорции цветов в (1); следовательно, вычтите—

(4) {

Красный	69
Зеленых	25
фиолетовых	41,5

и это оставило бы в качестве дополнительного цвета без какой—либо примеси белого -

(5) {

Красный	56
Фиолетовый	33,5

который, как и следовало ожидать, фиолетовый.

Теперь, чтобы придать комплементу такое же разбавление белого, какое есть в изумрудно-зеленом, мы должны отнять у изумрудно-зеленого весь белый, смешанный с ним, и добавить это количество к комплементу. Белое в изумрудно-зеленом можно найти, рассматривая все красное как собирающееся образовать белое; тогда мы имеем из (1)—

(6) {

Красный	40
зеленых	14.4
Фиолетовый	24

Вычитая это из (2), мы находим, что изумрудно-зеленый цвет, за вычетом белого света, составляет $20 \cdot 6$ зеленого, смешанного с 1 фиолетовым. Чтобы найти правильное разбавление дополнительного цвета, мы должны добавить указанные выше пропорции трех цветов, и в качестве нашего конечного результата мы обнаруживаем, что дополнительный цвет с равной примесью представляет собой смесь —

(7) {

Красный	96
Зеленых	14,4
Фиолетовый	57,5

В этих отверстиях можно установить прорези, а на экран нанести цветное пятно, и мы увидим, что оно нежно-розового цвета. В истинности этого можно убедиться, используя призму двойного изображения для просмотра пигментированной поверхности, освещенной тем же белым светом, что и та, при которой она была измерена, и цветного пятна на экране сбоку от нее. Эти два цвета могут перекрываться, когда будет видно, что получается белый.

Другим примером был оранжевый пигмент, и мы представим его в виде уравнения цвета. Та же смесь дала белый цвет, а именно:

$$165 R + 60 G + 100 V = W$$

$$165 R + 42 G = O$$

∴ дополнительный цвет, который составляет

$$W - O = 18 G + 100 V,$$

или темно-синего цвета. В этом случае, по-видимому, белый свет не отражался от оранжевого. Он был слегка глянцевым, и поскольку для отражения луча использовался поляризованный свет, он, вероятно, был несколько приглушен; но что более вероятно, так это то, что зеленый цвет содержит немного фиолетового, а также красного, по причинам, приведенным в главе XI. Причина, по которой мы уделили особое внимание тому, чтобы показать, до какой степени дополнительные цвета должны быть разбавлены белым в той же пропорции, в какой разбавляется сам цвет, станет очевидной, если немного поразмыслить. Темно-коричневый цвет на самом деле является оранжевым, значительно ухудшенным по тону, и может быть получен в виде цветового пятна на экране, если в отраженный луч цветового пятна поместить ярко-оранжевый пигмент, а свет практически перекрыть вращающимися секторами. Теперь один и тот же дополнительный цвет будет найден для обоих, но если бы мы использовали яркий дополнительный цвет, который мы получили с оранжевым для коричневого, и попытались бы получить с ним белый с помощью призмы двойного изображения, мы потерпели бы неудачу, поскольку дополнительный цвет преобладал бы. Дополнительные цвета всегда могут быть образованы смесью только двух лучей, и хотя перекрывающиеся изображения могут образовывать белый цвет, все же, когда они расположены рядом, часто обнаруживается, что дополнительный, если не разбавить его белым, очевидно, слишком темный, чтобы быть удовлетворительным, но яркость можно увеличить, добавив к нему белый, поскольку к смеси двух лучей, образующих дополнительный, может быть добавлено любое количество белого, и, конечно, белый все равно будет образован с исходным цветом. Таким образом, вполне реально придать дополнительному элементу ту же яркость, что и последнему, добавив к нему белый свет. Как и сам цвет, дополнительный цвет всегда может быть выражен либо одним лучом спектра, либо белым светом, из которого вычитается один луч. (См. главу XIII.)

ГЛАВА XV.

Сохранение изображений на сетчатке —Использование цветных дисков.

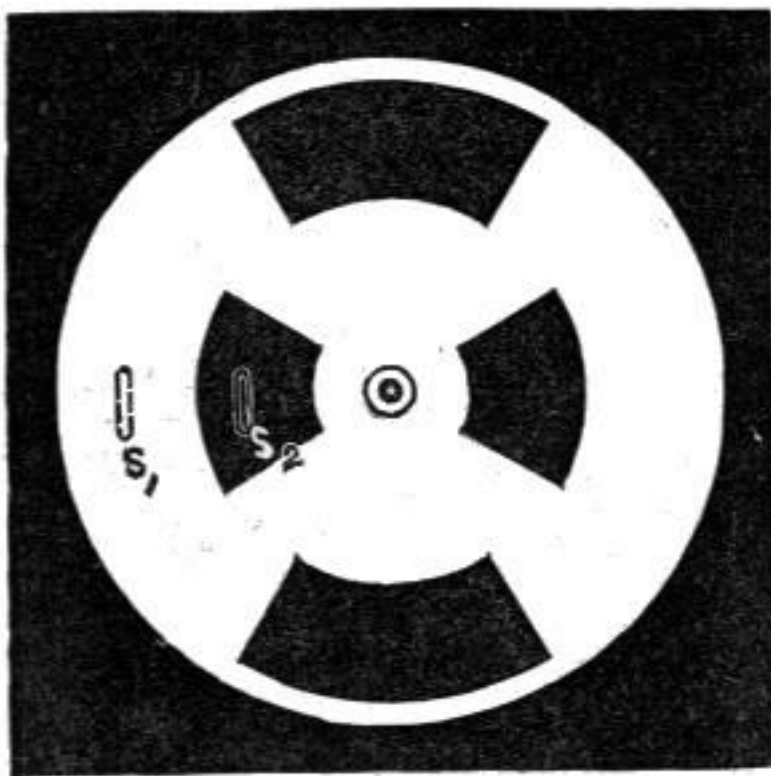


Рис. 39. Диск для попеременного

открывания и закрывания двух щелей.

К этому времени мы должны быть полностью убеждены, что, накладывая одно цветное пятно на другое, можно получить сложный цвет; наша следующая задача - продемонстрировать, что тот же эффект может быть достигнут последовательными изображениями этих же цветов. Таким образом, мы можем показать, что подобно тому, как смесь красного и синего дает фиолетовый цвет, когда два источника света накладываются друг на друга, точно такой же фиолетовый цвет может быть получен, если позволить одним и тем же двум цветам бросаться в глаза попеременно и в очень быстрой последовательности. Мы можем совместить красивый фиолетовый оттенок перманганата калия, как и раньше, на экране, поместив одну регулирующую щель в красную, а другую в фиолетовую. Если мы поместим перед прорезями диск, вырезанный с равными угловыми отверстиями (рис. 39), прорезь S_1 будет закрыта, когда прорезь S_2 открыта, и наоборот, и они никогда не будут открыты одновременно, когда карта поворачивается вокруг своего центра. Когда этот диск заставят быстро вращаться, мы получим сначала пятно, образованное светом, проходящим через одну щель, а затем другое, образованное светом, проходящим через другую щель, отбрасываемое на экран в одном и том же месте в быстрой последовательности, и воздействие на глаз должно быть точно таким же, как если бы диска там не было, за исключением интенсивности. Экспериментально применив это изобретение к двум щелям, которые использовались для придания цвета перманганата, эксперимент показывает нам, что это так. Было бы отклонением от цели данной работы, если бы подробно остановился на физиологическом аспекте этого эксперимента; необходимо только указать, что отпечаток на сетчатке сохраняется заметное время, хотя и короткое, и что отпечаток, производимый синим пятном, не успел исчезнуть до того, как появилось отпечаток, производимый красным пятном, и так далее. Поскольку сетчатка удерживает эти два впечатления вместе, они создают впечатление фиолетового цвета.

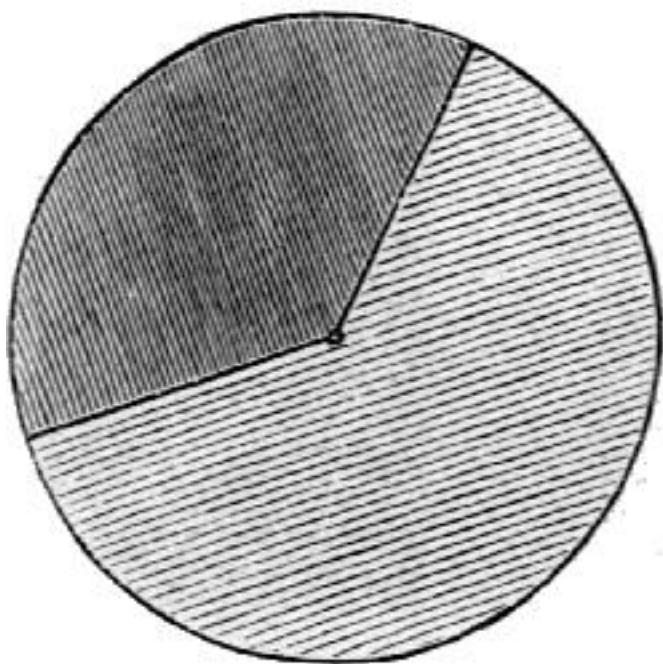


Рис. 40. Диск, окрашенный в синий и красный цвета.

Для экспериментов с цветом эта продолжительность оттиска имеет большое значение, поскольку мы можем воспользоваться ею для очень простого соединения цветов пигментов друг с другом. Например, мы можем взять круглый диск, раскрашенный на сектора синим и красным (рис. 40), и придать ему фиолетовый цвет, заставив его вращаться вокруг своего центра. Маленькие диски диаметром в два дюйма могут быть раскрашены секторами разного цвета, и если провести булавкой по центру, то ловкое движение пальца по периферии заставит его вращаться достаточно быстро, чтобы цвета смешались. Однако более удобным способом для точной работы является установка электродвигателя, аналогичного тому, который приводит во вращение подвижные секторы (рис. 41), а на конце шпинделя закрепить колпачок с помощью винта и гайки. Диск, перфорированный в центре с четко вырезанным отверстием, можно надеть на винт и закрепить круглой гайкой. Когда якорь вращается, диск также вращается с той же скоростью, и цвета, таким образом, смешиваются без каких-либо усилий со стороны наблюдателя. Можно использовать и обычные волчки, но несколько утомительно заводить их заново для каждого эксперимента. Двигатель, показанный на рисунке, вращается достаточно быстро с дисками диаметром восемь дюймов для смешивания цветов. Здесь можно отметить, что чем ярче свет, в котором вращаются такие сектора, тем быстрее должно быть вращение. Слишком медленное вращение приводит к появлению мерцания, которое отрицательно сказывается на точности считывания. Для смешивания одних цветов также требуется более быстрое вращение, чем для других. Чем ярче цвет, тем быстрее оно должно быть. Из этого мы узнаем, что уменьшение более интенсивных впечатлений на сетчатке вначале происходит быстрее, чем уменьшение более слабых.

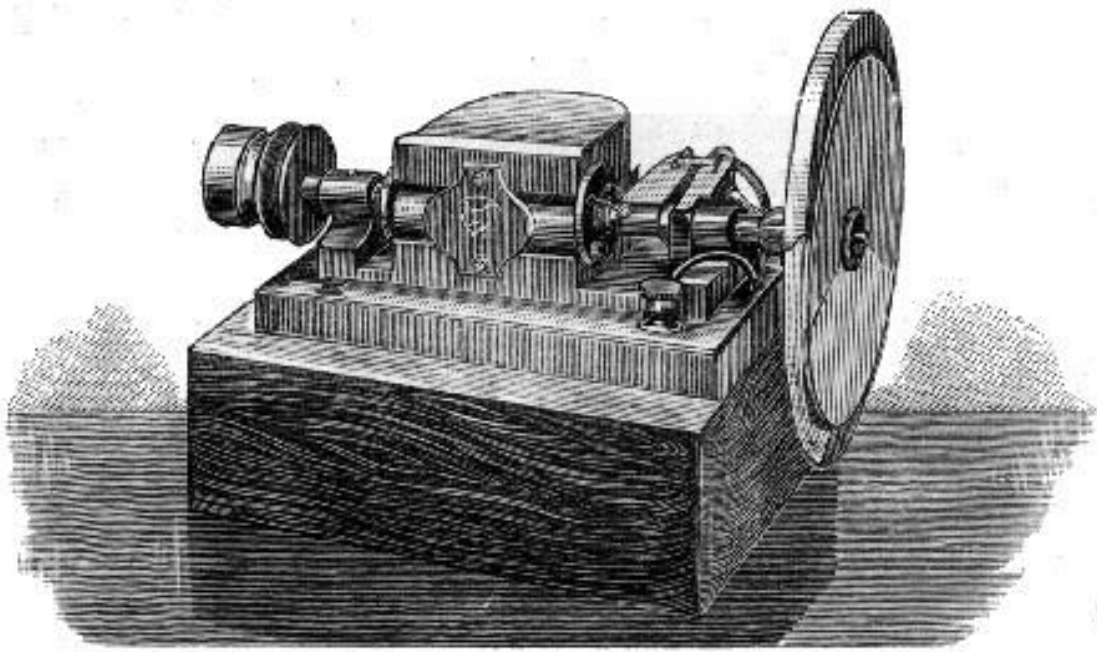


Рис.

41.Электродвигатель с прикрепленными к нему дисками.

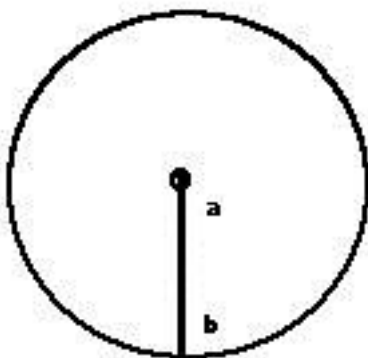


Рис. 42.Способ установки отрезного диска для обеспечения перекрытия второго диска.

Очень удобными дисками для получения цветов путем вращения секторов могут быть следующие: киноварь (V), изумрудно-зеленый (E), французский ультрамариновый синий (U), хромовый желтый (Y), лампово-черный (X) и (цинковый) белый (W). С их помощью можно получить практически любой цвет или определить его значение. Хромированный желтый диск несколько излишен, но иногда полезен. Изменение пропорций цветов может быть легко произведено по плану Кларка-Максвелла. От окружности к центру он разрезал диски, как на *ab* (рис. 42). Любое умеренное количество дисков, нарезанных аналогичным образом, может быть наложено друг на друга, и видимым остается только сектор каждого из них. Следует отметить, что для этого необходимо рассматривать вращающийся аппарат при прямом освещении, поскольку в случае двух или трех накладывающихся друг на друга дисков невозможно

сохранить их полностью плоскими, и возможны затенения. Если мы хотим получить белый или, скорее, серый цвет из трех цветов, мы можем взять три маленьких диска одинакового диаметра V, E и U, а позади них разместить диски большего диаметра черного и белого цветов, вращая все пять вокруг общего центра. Мы обнаружим, что, изменяя пропорции трех первых, мы можем получить серый цвет, который может быть точно подобран смесью черного и белого, X и W. Уже было показано, что даже лампово-черный цвет отражает определенное количество белого света, поэтому это количество отраженного белого света должно быть добавлено к белому во внешних секторах. В секторах, использованных в следующих экспериментах, было обнаружено, что требуются следующие пропорции трех цветов —

$$\begin{aligned} V &= 124^\circ \\ E &= 143^\circ \\ U &= 93^\circ \\ &360^\circ \end{aligned}$$

и чтобы сделать такой же серый, потребовалось

$$\begin{aligned} X &= 278^\circ \\ W &= 82^\circ \\ &360^\circ \end{aligned}$$

Теперь черный отражал $3 \cdot 4\%$ белого света, так что на самом деле пропорции черного и белого были

$$\begin{aligned} X &= 268.6 \\ W &= 91.4 \\ &360.0 \end{aligned}$$

Эти спички были сделаны при свете, излучаемом кратером положительного полюса электрического фонаря, и подходят только для этого источника света. Серые цвета здесь темно-серые, и таким серым цветам можно точно соответствовать, отбрасывая белый свет, в котором производилось сравнение, на белую карточку и уменьшая интенсивность с помощью вращающихся секторов. Мы можем доказать, насколько корректны наши сопоставления, исходя из наших предыдущих измерений яркости этих трех цветов по сравнению с яркостью белого. Светимости V, E и U, как установлено из измерений ([стр. 93-95](#)), равны 36, 30 и $4 \cdot 4$, белый цвет равен 100; 124 из V имели бы светимость $(124 \times 36) / 360$, или $12 \cdot 4$; 143 из E имели бы $11 \cdot 92$; и 93 из U имели бы $1 \cdot 14$; что, добавленное к любому из них, дает светимость $25 \cdot 46$. Яркость $91 \cdot 4 / 360$ белого, то есть смеси черного и белого, достигает $25 \cdot 39$, так что мы можем предположить, что наши наблюдения были достаточно правильными.

Влияние вида освещения, при котором была произведена спичка, хорошо видно на примере того, как подобранные диски во время вращения помещают в комнату, освещенную светом с неба, когда видно, что серый цвет внешних дисков голубоватый; или, опять же, если рассмотреть подобранные диски при газовом освещении, внутренний серый цвет окажется слишком голубым.

Было обнаружено, что оттенок серого при этом последнем освещении был

$$V = 119^\circ$$

$$E = 148^\circ$$

$$U = 93^\circ$$

$$360^\circ$$

, что соответствует

$$X = 244^\circ$$

$$W = 116^\circ$$

(В данном случае черное и белое - это исправленные черное и белое.)

Важность зажигания спичек при равномерном освещении справедливо продемонстрирована этим экспериментом, и мы не можем ошибиться, утверждая, что, поскольку свет в потолке, солнечный свет и освещенность облаками (последнее часто является смесью двух первых) настолько непостоянны, никакие измерения, сделанные в один день, нельзя достоверно сравнить с измерениями, сделанными в другой, особенно если наблюдатели разные. С помощью изумрудно-зеленого, киноварного, ультрамаринового, белого и черного диска в устройстве вращения можно воспроизвести любой цвет, причем первые три почти соответствуют тому, что мы уже называли тремя основными цветами.

Может показаться любопытным, что для получения пигментного оттенка приходится смешивать как черный, так и белый цвета; но небольшое размышление покажет, как это происходит. Например, предположим, что мы хотим знать цветовой состав gamboge (Y) в терминах киновари (V), изумрудно-зеленого (E) и ультрамариново-синего (U). Мы должны изготовить диск, окрашенный гамбоге, а также черный и белый диски того же диаметра, но несколько большего, чем три других диска, и поместить их на шпиндель электродвигателя (рис. 43). Вращая их, мы вскоре увидим, что для внутреннего диска не требуется синий цвет и что все, что остается сделать, - это использовать красный и зеленый. Однако смешайте эти два вещества в любых пропорциях, смесь никогда не достигнет одинаковой яркости, следовательно, мы должны затемнить желтый черным. Даже тогда мы обнаружим, что, сколько бы черного цвета мы ни добавили, вращающиеся красный и зеленый секторы всегда будут немного менее насыщенными цветом; это означает, что при вращении они излучают определенное количество белого света, смешанного с желтым. Этого можно было ожидать, поскольку изумрудно-зеленый, помимо зеленого и красного, также содержит изрядную долю синего, а поскольку красный, зеленый и синий при смешивании дают белый, из этого следует, что при совместном вращении V и E к получаемому цвету должен примешиваться серый или приглушенный белый свет. Возвращаясь к главе XIII. мы также видим, что, поскольку изумрудно-зеленый цвет выражается одним лучом спектра, смешанным с белым светом, этот результат мог быть предсказан.

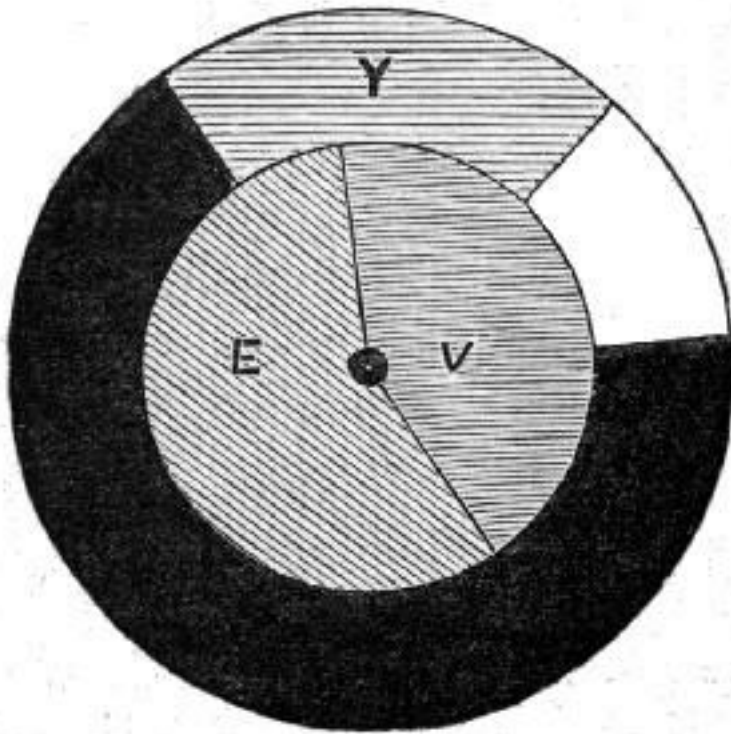


Рис. 43.Схема определения значения

Гамб в терминах изумрудно—зеленого и киноварного.

Это требует добавления немного белого к вращающимся секторам желтого и черного, поскольку желтый отражает очень мало белого света, и, наконец, мы получим абсолютное совпадение, конечными результатами которого являются

$$172\text{ B} + 188\text{ E} = 75\text{ Y} + 45\text{ Vt} + 240\text{ X}.$$

Это уравнение полно смысла. В первую очередь это говорит нам о том, что мы уже знали, а именно, что V и E являются одним или обоими нечистыми цветами, и что при вращении вместе в указанных пропорциях они дают, по крайней мере, яркость белого, равную 53/360 белого диска (поскольку используемый черный отражал всего 3-4% белого света). Далее, это говорит нам, что мы можем получить яркость Y, когда мы знаем яркости V и E. На странице 186 яркость этих цветов указана как 36 и 30 соответственно, белый равен 100. Таким образом, яркость цветов в левой части уравнения определяется $17 \cdot 2 + 15 \cdot 67$, или $32 \cdot 87$, а справа $75/360\text{ Y} + 14 \cdot 76$, и, следовательно, светимость $Y = 86 \cdot 9$. Таким же образом мы можем получить любой другой цвет в соответствии с этими стандартами.

Здесь мы можем показать, как мы можем получить яркость любого цвета с помощью трех внутренних дисков, а также черного и белого внешних дисков. Мы уже показали, что любому цвету может соответствовать комбинация не более двух простых цветов, после вычета из нее белого; и из этого мы выводим, что любой цветной пигмент образует серый цвет с некоторыми двумя из трех цветных дисков, V, E и U; и, сделав это, мы можем затем рассчитать яркость. Например, используя пигмент оранжевого цвета, мы должны приступить к изготовлению диска того же диаметра, что и у трех вышеперечисленных; проверка показала бы нам, что в этом цвете преобладает красный, и поэтому мы могли бы обойтись без красного диска. Затем мы должны

изменить пропорции V, U и O до тех пор, пока они не будут соответствовать цвету серого, определяемому вращающимися черным и белым секторами.

В эксперименте с апельсином этого вида были получены следующие результаты—

$$\begin{array}{rcl} \begin{array}{ll} E & 115^\circ \\ U & 150^\circ \\ O & 95^\circ \end{array} & \} = \{ & \begin{array}{ll} W & 85^\circ \\ X & 275^\circ \end{array} \end{array}$$

Теперь мы можем из них определить яркость оранжевого цвета, используемого в данном случае.

Яркости E и U, как уже было установлено, составляли 30 и 4·4, в то время как черный (X) отражал 3·4% белого света; таким образом, мы получаем следующие уравнения—

$$115 \times 30 + 150 \times 4.4 + 95 O = (85 + 3.4 \times 275) 100.$$

$$\text{Это дает } 95 O = 9435 - (3450 + 660).$$

$$O = 56.$$

То есть яркость оранжевого цвета равна ·56 яркости белого; при прямом измерении она составила ·57.

Аналогичным образом определяется яркость желтого хрома (Y). В данном случае —

$$\begin{array}{rcl} \begin{array}{ll} E & 35 \\ U & 204 \\ O & 121 \end{array} & \} = \{ & \begin{array}{ll} W & 101 \\ X & 259 \end{array} \end{array}$$

Были сформированы уравнения, аналогичные приведенным выше.

$$35 \times 30 + 204 \times 4.4 + 121 Y = (101 + 3.4 \times 259) 100$$

$$\text{whence } Y = 77.6.$$

То есть яркость желтого хрома равна ·78; такая же, как была получена прямым измерением.

Таким же образом можно определить яркость любого цвета. Таким образом, можно определить наличие фиолетового или зеленого цвета; для первого - используя зеленый диск с красным или синим диском, а для второго - красный и синий диски. Из этого очевидно, что мы можем проверить яркости, полученные другими способами с помощью этого плана.

Можно провести эксперимент с цветными дисками, чтобы имитировать все цвета спектра в их надлежащем порядке, хотя и более или менее разбавленные белым светом. Это можно сделать, вращая V, E и U вместе; но для того, чтобы придать желтому цвету дополнительную яркость, мы также можем использовать хромированный желтый. Если диск изготовлен, как показано на рисунке (рис. 44), то при вращении он будет давать точную имитацию спектра, если смотреть на него через щель, расположенную перед диском.

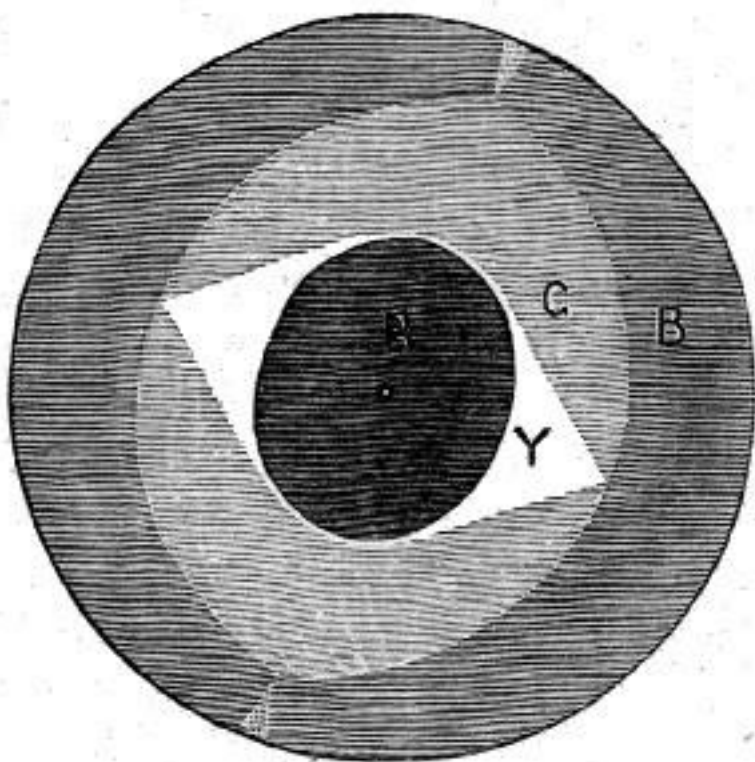


Рис. 44. Диск, расположенный так, чтобы передавать приблизительно все цвета спектра.

Смешивание цветов с помощью вращающихся секторов - это то, что художник не может использовать в художественных целях, и может показаться, что для него любые выводы, сделанные на основе этого метода, бесполезны; но это не так. Предположим, мы берем черные линии, подведенные близко друг к другу на бумаге, и рассматриваем поверхность с такого расстояния, что линии больше не различимы, она будет казаться серой; и если мы возьмем количество черного на бумаге и количество белого и подготовим два черно-белых сектора, углы которых находятся в этих пропорциях, и повернем их вдоль подведенной поверхности, то будет обнаружено, что серый цвет одного соответствует серому цвету другого. Если вместо черно-белых линий мы имеем светло-желтые и кобальтово-синие, то серый цвет также получается, когда поверхность, покрытая синим цветом, соответствует поверхности, покрытой желтым, в правильных пропорциях и может быть подобрана вращающимися секторами, содержащими только черное и белое. Сейчас некоторые художники используют штриховку, заполняя штриховку одного цвета точками совершенно другого цвета, или они размещают точки рядом. При взгляде с расстояния, с которого следует рассматривать изображение, эти различные цвета смешиваются друг с другом и образуют оттенок, который совпадает с тем, который был бы получен при смешивании этих цветов в той пропорции, в какой они покрывают землю. Художники, однако, обычно смешивают свои пигменты вместе на палитре, и получающиеся смеси часто совершенно не похожи на те, которые получаются путем смешивания одних и тех же цветов, заслуживающим внимания примером является желтый и синий. При вращении и в правильной пропорции эти два компонента дают белый цвет, но при смешивании на палитре получается зеленый. Чем вызвана эта разница? Экспериментальное доказательство всегда является наиболее удовлетворительным доказательством, поэтому давайте обратимся к аппарату spectrum, чтобы получить ответ. Пусть на экран будет нанесен спектр, и в него поместят полоску бумаги, окрашенную в желтый цвет, а затем другую, окрашенную в синий. В

первом случае будет видно, что синие лучи не отражаются, а отражаются только зеленые, желтые и красные, принимая спектр как грубо составленный из этих четырех цветов. При последнем желтый цвет не отражается, а красного очень мало, но синий и зеленый отражаются сильно. Итак, мы уже говорили, что отражение цвета от поверхности указывает на цвета, которые передавали бы частицы пигментов, взятые достаточно тонкими, чтобы быть прозрачными; следовательно, мы можем считать, что желтый пигмент передает красный, желтый и зеленый цвета, а синий пигмент едва ли передает что-либо, кроме синего и зеленого. Когда мы нанесем смесь этих мелких частиц пигмента на бумагу, одни из них будут лежать под другими. Но давайте обратим внимание на то, что произошло бы, если бы желтая частица была сверху, а синяя под ней. Белый свет падал бы на желтую частицу, но только красный, желтый и зеленый пропускали бы ее или отражались от нее. Затем этот рассеянный свет падал бы на синюю частицу, и — как мы видели — только синий и зеленый цвета могли проходить сквозь нее или отражаться от нее; но поскольку желтая частица уже лишила белый свет его синей составляющей, только зеленый свет проходил бы на бумагу и отражался либо непосредственно от поверхности бумаги, либо через сами частицы к глазу. Если бы синяя частица находилась сверху, был бы произведен точно такой же эффект; это позволило бы только синему и зеленому проходить к желтой частице, а поскольку желтый непрозрачен для синего, снова проходил бы только зеленый свет. Точно так же, если бы они находились рядом, происходили бы те же явления, поскольку свет, отраженный от одного предмета к другому, был бы лишен всякого цвета, кроме зеленого. Очень красивое экспериментальное доказательство этого состоит в том, чтобы поместить желтый раствор красителя перед щелью красящего аппарата и, сформировав желтое цветное пятно, поместить в него лист бумаги, покрытый синим пигментом: последний становится зеленым. Поместив синий раствор перед прорезью и используя лист желтой пигментированной бумаги, получаем тот же результат. Поэтому художник, смешивая свои пигменты, задействует закон поглощения и на основании своих смесей очень естественно предполагает, что синий и желтый цвета образуют зеленый. Он создает нейтральный оттенок синего, красного и желтого, и поскольку красный отсекает зеленый, это естественным образом следует из вышесказанного. Подобные эксперименты привели его к выводу, что красный, желтый и синий являются тремя основными цветами, предположение, которое, если бы он использовал простые цвета спектра вместо сложных цветов, таких как пигменты, он бы не рискнул делать.

ГЛАВА XVI.

Контрастные цвета —Измерение контрастных цветов—Усталость глаз после получения изображений.

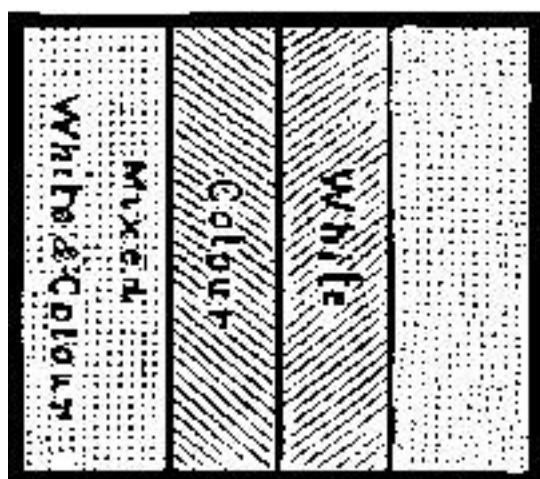


Рис. 45.Способ отображения контрастных цветов.

В цвете есть явление, на которое следует обратить внимание и которое представляет для мира искусства нечто большее, чем мимолетный интерес, - это цветовой контраст. Возможно, один из лучших методов показать это - с помощью нашего устройства для нанесения цветных пятен. Если мы направим отраженный луч и цветное пятно на квадрат, как и раньше, и поместим впереди стержень гораздо тоньше, так что две тени лягут на фон из комбинированного белого света и спектральных цветов, то при прохождении щели через спектр тень, освещенная белым светом, будет казаться какой угодно, только не белой. Таким образом, если мы позволим желтому спектральному свету осветить одну тень, другая будет казаться явно синего оттенка; если зеленый луч, то она будет красноватого оттенка; если синий луч, то желтого оттенка; то есть глазу будут казаться, что все контрастные оттенки стремятся к дополнительному тону к спектральному свету. Вид белого света, освещающего тень, оказывает заметное влияние на тон, как и следовало ожидать. В следующей таблице показан контрастный цвет белой освещенной тени, когда использовался белый свет свечи.

Цвет спектра.	Контрастные цвета при электрическом освещении.	Цвет спектра.	Контрастные цвета при газовом освещении.
Вишнево-красный	Зелено-серый	Вишнево-красный	Зелено-серый
Алый	Голубовато-зеленый серый	Алый	Сок зеленый
Терракотовый	Сине-серый	Светло-красный	Зелено-серая
необработанная сиена	Светло-сине-серая	Оливково - зеленый	Розово - серый
Оливково - зеленый	Умбра	Яблочко - зеленый	Лилово-черный
Изумрудно-зеленый	Розовато-лавандовый	Изумрудно-зеленый	Розовый терракотовый
Травянисто-зеленый	Светло-розовый	Изумрудно-зеленый	Розовый терракотовый
Голубовато-зеленый	Темно-розовый	Голубовато-зеленый	Розовый терракотовый

Сигнальный зеленый	Лососевый	Павлинья лазурь	Лососевый
Цианиновый синий	Желтая охра	берлинская лазурь	Красновато-желтый
Ультрамарин	Сырая сиена	Ультрамарин	Необработанная сиена
Фиолетово - синяя	Коричневато- желтая	Фиолетово- синяя	Коричневато- оранжевая
Сине -фиолетовая	Зеленая желто- коричневая	Сине- фиолетовая	Коричневато- желтая
Фиолетовая	Жженая сиена	Фиолетово	-желтая охра

Показанные здесь контрасты не так заметны, когда две тени от стержня занимают весь белый квадрат, но значительно усиливаются, когда тени занимают только часть поля, а края освещаются смесью двух источников света. Существуют не только контрасты с цветным светом и белым, но и относительное расположение одного цвета по отношению к другому может изменять оттенок каждого из них для глаза. Следующие эксперименты показывают, каких изменений можно ожидать при контрастировании цветов. Использовался двухцветный аппарат, как описано на стр. 122, и щель была размещена в четырех различных положениях спектра, а именно. в красном, оранжевом, зеленом и фиолетовом, чтобы образовались пятна, и еще одна щель была размещена в тех же четырех положениях в другом спектре, и контрасты были отмечены.

Оригинальные цвета.		Изменяются за счет контраста.	
Красный	Оранжевый	Красный стал желтее	Оранжевый стал зеленым серый
Красный	Зеленый	Красный без изменений, но ярче	Зеленый неизменный, но более яркий
Красный	Синий	Красный стал более оранжевым	Синий стал зеленее
Красный	Фиолетовый	Красный стал оранжевым	Фиолетовый, без заметных изменений
Зеленый	Оранжевый	Зеленый стал синее	Оранжевый стал желтее
Зеленый	Синий	Зеленый стал оливковым	Синий стал более фиолетовым
Зеленый	Фиолетовый		Фиолетовый стал голубее,
Оранжевый	Синий	Оранжевый стал краснее,	Синий стал голубее,
Оранжевый	Фиолетовый	Оранжевый стал зеленее,	Фиолетовый стал голубее,
Фиолетовый	Синий	Почти не изменился,	Почти не изменился

Эти контрасты в большинстве случаев были очень заметными, что можно было бы увидеть, если бы одни и те же цвета отображались в другой части экрана, за пределами той, на которой производилось сравнение.

Это явление контраста является наиболее ценным для художественных целей, поскольку оно дает возможность повысить ценность цвета пигментов, который используется художником почти интуитивно. Таким образом, он может усилить тон своего оранжевого пигмента, с помощью которого он создает закатное небо, поместив рядом с ним кусочек синего пространства. Благодаря этому искусству синий становится синее, а оранжевый - более оранжевым. Все эти ухищрения — или, скорее, мы должны сказать, интуитивные приложения науки — наиболее необходимы, когда принимается во внимание небольшой диапазон яркости цветов, с которым ему приходится иметь дело. Например, на изображении освещенной солнцем снежной горы и густых сосновых лесов максимальная яркость, которую он может придать первому, - это яркость белой бумаги при просмотре в тени, которая, по сравнению с тем, что он видит, на самом деле представляет собой смесь 90% черного цвета со светом от снега, так что его диапазон яркости составляет лишь девять десятых от того, что встречается в природе. Именно в том, чтобы приспособить этот низкий масштаб к своей картине, проявляется истинный гений художника.

Может показаться, что эти контрастные цвета, являясь всего лишь физиологическим эффектом, не могут быть точно измерены, но это не так, если применить небольшую хитрость. Если мы используем второе устройство для изменения цвета параллельно с первым, мы можем очень легко и с очень близким приближением определить контрастные цвета, которые мы видим. Предположим, что с помощью второго устройства мы формируем цветное пятно, скажем, красного цвета, и помещаем тонкий стержень в луч этого луча и отраженного луча, и примерно в шести дюймах от него формируем другое пятно с помощью первого устройства, используя три прорези для смешивания цветов; сначала отмечая контрастный цвет, а затем приближая во втором устройстве к тому, что воспринимает глаз, мы можем мало-помалу получить довольно точное соответствие контрастному цвету и можем определенно отметить это. Теперь мы приводим результаты трех измерений контрастности цветов, которые предстали перед глазом, когда они были вызваны красным лучом вблизи линии лития, другим лучом вблизи линии Е в зеленом цвете и третьим рядом с линией G в фиолетовом.

Чтобы получить белый свет и контрастные цвета, щели должны были иметь следующие отверстия—

Цвет.	Красный.	Зеленый.	Фиолетовый.
Белый свет	15·7	6·5	9·8
Контрастирует с красным	13·5	11·8	22·5
Контрастирует с Зеленым	15·8	5·1	4·8
Контрастирует с фиолетовым	15·9	7·2	4·2

Таким образом, для создания контраста с красным потребовалось 13·5 красного, 11·8 зеленого и 22·5 фиолетового. Теперь из каждого из них можно вычесть количество белого света, в результате чего смешаются только два цвета. Подсчитав это, мы обнаружим, что контрасты равны —

Контрастный цвет с	красным.	Зеленый.	Фиолетовый.
Красный	—	3·5	16·7
Зеленый	15·7	3·2	—

Если контрасты были точно взаимодополняющими цветами, пропорции двух оставшихся цветов должны быть такими же, как у тех же цветов, что указаны, которые вместе с исходным цветом образуют белый свет. Будет видно, что это не так. Очень простой способ проверить это - сформировать пятно белого света с помощью трех щелей в первом аппарате, а затем получить контрасты с помощью другого аппарата, используя один за другим те же цвета, которые проходят через три щели. Если теперь мы закроем щель в первом аппарате, через которую проходит цвет, контраст которого ищется во втором аппарате, мы можем разбавлять его белым светом по своему усмотрению, но автор ни в коем случае не обнаружил, что таким образом можно получить точное соответствие контрастному цвету. Таким образом, предположим, что мы хотим провести эксперимент с тем же красным светом, что и тот, что проникает через красную щель, мы должны использовать этот же свет во втором устройстве и сформировать контрастный цвет с помощью белого луча, а затем в первом устройстве закрыть красную щель, оставив фиолетовый и зеленый цвета для образования пятна на экране. Затем мы должны разбавить цвет этого пятна белым светом и отметить, совпадает ли он с контрастным цветом.

Другим проявляющимся явлением является утомление цветоощущающего аппарата глаза, вызванное разглядыванием яркого объекта. Например, если мы некоторое время смотрим на малиновую пластинку или пятнышко, а затем поворачиваем глаз так, чтобы он остановился на серой поверхности, изображение пятна все равно будет видно, но зеленовато-голубого цвета. Это связано с тем фактом, что аппарат видения красного цвета утомлен и истощен, в то время как механизмы видения зеленого и фиолетового цвета были в значительной степени задействованы. Следовательно, при взгляде на серую бумагу серый цвет бумаги виден на сетчатке во всех частях как серый, за исключением небольшой части сетчатки, у которой снижена способность воспринимать ощущение красного; следовательно, изображение цвета морской волны будет видаться до тех пор, пока не пройдет усталость. Этот цвет можно воспроизвести с очень высокой точностью, допустив утомление только одного глаза, а затем используя другой для получения соответствующей ему цветовой смеси. Затем будет обнаружено, что цвет такой же, как у дополнительного цвета, но сильно разбавленный белым светом.

К той же причине могут быть отнесены положительные и отрицательные остаточные изображения, как их еще называют. Если мы посмотрим на сильно освещенную цветную форму, такую как церковное окно, и закроем глаза, окно все равно будет видно, сначала в его первоначальном цвете (положительное остаточное изображение), а затем оно поблекнет и будет видно в дополнительных цветах (негативное остаточное изображение). Положительный образ возникает из-за постоянства того, что мы можем назвать нервным раздражением, в то время как отрицательный образ возникает из-за физиологического возбуждения всех нервных волокон, которые, говоря обычным языком, создают ощущение очень тусклого белого света. Однако предыдущее утомление одного набора фибрилл препятствует их возбуждению в той же степени, что и других, следовательно, мы получаем дополнительное изображение. Было бы неуместно развивать эту тему дальше, поскольку мы имели дело только с физическим измерением цветовых ощущений, а они выходят за ее рамки.

Указатель.

Поглощение красного, синего и зеленого стекла,	53
поглощение света в земной атмосфере,	67
поглощения, ссылкой на закон,	53
накаливания,	74
дуговая лампа,	20
художников и цвета,	195
Бальман краски,	33
черном теле,	18
слепота к зеленому цвету,	142
слепота на красный,	79-142
Бромо-йодистыми из серебра,	136
углерода поляков,	20
Кармин, свет, отраженный от	107
" шаблон,	106
хлорофилла, зеленого цвета раствор,	51
коллиматорный объектив, фокусное расстояние,	22
цвета, анализ,	52
дальтоники, красный и зеленый,	79 , 80
цветовая слепота,	142-146, 157 , 159
цветовые константы,	15
цвет уравнений, формирование,	147 , 148
цвет, вымирание, на белый свет,	126
цвет смеси,	113
цветового пятна прибор,	41-52
цветоощущению глаза,	202
цветных дисков, использование,	189
цветного стекла, измерения,	162
цвета, дополнительных пигментов,	170-172
цвета, дополняют спектра,	167
тонах, как подобраны,	156 , 157
дополнительных цветов, измерение,	173-178
составные цвета, определение,	16
непрерывным спектром,	17

контрастных цветов,	196-200
дифракционных решеток,	23
" спектров,	24
помутнения и яркость спектра,	29
дисков, спиннинг,	182
пыли, частиц,	62
электрическое освещение, контрастность цвета,	197
электрическое освещение, кратер положительному полюсу,	20
изумрудно-зеленый, свет, отраженный от,	94
уравнений, цвет,	147
основы спектра,	22
добыча цвет на белый свет,	126
добыча белый свет, цвет,	131
глаз, чувствительности,	15
устомления сетчатки,	202
флуоресценции,	31
основополагающих ощущений,	140
Гуммигут, согласование,	189
стекла, свет от листа,	14
стеклянных призм,	21 , 22
Светлячка,	13
зеленый цвет-слепота,	142
тепловое действие излучения,	38
Хюэ,	15
снимков, после,	202
изображений, сохранением, на сетчатке,	179
примесью светлых тонах,	124
показатель секторов,	48
инфракрасных лучей,	32
" с фотографией,	34
равнодушия желтого пятна зеленого,	118
интенсивности внимания, Газовый свет, и голубое небо, по сравнению,	110 , 121
вмешательства,	58 , 59
помехи, полосы на мыльную пленку,	60
невидимом спектре, методы, показывающие наличие,	32 , 33
Кœnig кривые,	151
Кœnig экспериментов,	140

закона рассеяния на мелких частиц,	66
свет от солнца, имитация,	63
свет, качество, освещающий объект	14
рассеянного света,	62
виду,	19
линий в солнечном спектре,	26
светимость,	13
светимость, дополнение одного к другому,	85-87
яркость цвета,	16
яркости пигментов, методы определения,	81 , 82
светимости, спектра нормальных глазами и дальтоник лиц,	76-78
светимость Солнца при различных высотах,	69-71
Максвелла ящик с красками,	152 , 153
Максвелла диски,	184-186
измерение количества света, отраженного от различных пигментов,	88-92
металлов, свет, отраженный с,	100
макет солнца, причиной изменения цвета в,	64
Молекулярная физика	54
молекулярной качели,	136 , 137
монохроматического света,	47
негативные образы,	203
нормальным зрением,	77
оранжевый, найти светимость,	190
проценты фонаря, солнечный свет, вода,	110 , 111
фосфоресценции,	32 , 56
пигментами, поглощение,	57 , 58
плана формирования спектра,	21
полированный и неровных поверхностях,	13
основных цветов, определения,	133- 135
призму исландского шпата,	96
призматического спектра на длину волны, преобразование,	28
призмы, недостатком использования,	23
- прусский голубой шаблон,	107
" " света, отраженного от,	107
чистота цвета,	16
лучей, инфра-красный,	34
лучи, фотография, темно,	34

лучи, ультрафиолетовые,	34
зарегистрировавшись оттенок пигментов,	116
" " краски,	156
сетчатки, сохранение изображений,	179
Риттера лучей,	32
руд по цветовой гамме,	26
вращающихся секторов,	46
масштабирования спектра,	49
секторов, вращение,	46
простые цвета, как получается,	112 , 113
щелями помещен в спектре,	113
мыльные пузыри,	58 , 59
мыла-фильмы,	59
спектра, поглощение,	51 , 52
части спектра солнечного излучения,	18
ВС, макет,	64
закат Облака,	68 , 69 , 72 , 73
закатное небо,	72 , 73
Термобатарей, отопление последствия,	36
Термобатарей, принцип,	35
Ультрамарин, свет, отраженный с,	95
ультра-фиолетовых лучей,	31
киноварь, свет, отраженный с,	93
колебания лучей в секунду,	55
фиолетовые полосы, яркость,	21
видимой и невидимой частях спектра,	30
воды, частицы,	62
длина волны линий в солнечном спектре,	26
белый свет и контрастных цветов,	200-202
белый свет, угасание цвета,	131
белый свет, формирования смесью желтого и синего,	125
белый свет, как сделан,	114 , 115 , 119-123
Белый свет, впечатление,	81
Желтый и синий делают белый,	125
Желтый, хром, яркость,	191
Желтое пятно,	117
Теория Юнга-Гельмгольца,	138

КОНЕЦ.

Richard Clay & Sons, Limited,
Лондон и Бангей.

ПУБЛИКАЦИИ OF THE Общества содействия распространению христианских знаний. РОМАНТИКА НАУКИ.

Серия книг, которая показывает, что наука представляет для масс такой же интерес, как и современные романы, и несет в себе больше назидания.

Небольшой столб 8во, Матерчатые доски.

Уголь и что мы из него получаем. Расширено по материалам лекции, прочитанной в Лондонском институте. Автор: профессор Рафаэль Мелдола, F.R.S., F.I.C. С несколькими иллюстрациями. 2с. 6г.

Измерение и смешивание цветов. Автор: капитан У. де В. Эбни, L.B., R.E., F.R.S. С многочисленными иллюстрациями. 2с. 6г.

Создание цветов. Автор: преподобный профессор Джордж Хенслоу, M.A., F.L.S., F.G.S. С несколькими иллюстрациями. 2с. 6г.

Рождение и рост Миров. Лекция профессора А. Х. Грина, магистра наук, 1-го уровня F.R.S.s.

Мыльные пузыри и силы, которые их формируют. Курс лекций C. V. Boys, A.R.S.M., F.R.S. С многочисленными диаграммами. 2с. 6г.

Волчки. Автор: профессор Дж. Перри, M.E., D.Sc., F.R.S. С многочисленными диаграммами. 2с. 6г.

Болезни растений. Автор: профессор Маршалл Уорд. С многочисленными иллюстрациями. 2с. 6г.

История трутницы. Курс лекций Чарльза Меймотта Тиди, M.B., M.S., F.C.S. С многочисленными иллюстрациями. 2с.

Время и прилив. Роман о Луне. Сэр Роберт С. Болл, доктор юридических наук, Королевский астроном Ирландии. С иллюстрациями. 2с. 6д.

РУКОВОДСТВА ПО ОХРАНЕ ЗДОРОВЬЯ.

Фсар. 8vo, 128 стр., мягкая ткань, цена 1 шт. каждая.

Здоровье и профессия. Б. В. Ричардсон, эсквайр, Ф.Р.С., доктор медицины

Жилье в отношении здоровья (The). Ф. С. Б. Шомон, доктор медицины, F.R.S.

О личной заботе о здоровье. Покойный Э. А. Паркес, доктор медицинских наук, профессор

Вода, воздух и дезинфицирующее средство. У. Ноэль Хартли, эсквайр, Королевский колледж.

РУКОВОДСТВА ПО ЭЛЕМЕНТАРНЫМ НАУКАМ.

Фсар. 8vo, 128 стр., с иллюстрациями, мягкая ткань, по 1 с. каждая.

Физиология. Ф. ле Гро Кларк, F.R.S., больница Святого Фомы.

Геология. Преподобный Т. Г. Бонни, магистр естественных наук, член-корреспондент и покойный преподаватель Колледжа Святого Иоанна в Кембридже.

Химия. Альберт Дж. Бернейс.

Астрономия. У. Х. М. Кристи, Магистр медицины, Королевская обсерватория, Гринвич.

Ботаника. Роберт Бентли, профессор ботаники Королевского колледжа в Лондоне.

Зоология. Альфред Ньютон, магистр естественных наук, профессор зоологии и сравнительной анатомии Кембриджского университета.

Материя и движение. Покойный Дж. Клерк Максвелл, магистр медицины, Тринити-колледж, Кембридж.

Спектроскоп и его работа (The). Покойный Ричард А. Проктор.

Кристаллография. Генри Пэйлин Герни, магистр, колледж Клэр, Кембридж.

Электричество. Покойный профессор Флиминг Дженкин.

"Отцы" для английских читателей.

Серия монограмм о Главных Отцах Церкви, выбранные Отцы были центрами влияния в важные периоды истории Церкви и в важных сферах деятельности.

Фсар. 8vo, ткань, доски, по 2 штуки каждая.

Лев Великий.

Преподобный Чарльз Гор, магистр медицины

Григорий Великий.

Преподобным Дж. Бармби, Б.Д.

Святой Амвросий: его жизнь, времена и учение.

Преподобным Робинсоном Торнтоном, д.э.н.

Святой Афанасий: его жизнь и времена.

Преподобный Р. Уилер Буш. (2с. 6д.)

Святой Августин.

Преподобным Э. Л. Каттсом, Б.А.

Святым Василием Великим.

Преподобным Ричардом Т. Смитом, Б.Д.

Святым Бернардом: аббатом Клерво, 1091-1153 гг. н. э..

Преподобным С. Дж. Илзом, магистром, доктором философии (2с. 6г.)

святым Иларием Пуатье и святым Мартином Турским.

Преподобным Дж. Гибсоном Казеновом, д.э.н.

Святым Иеронимом.

Преподобным Эдвардом Л. Каттсом, Б.А.

Святым Иоанном Дамаскиным.

Преподобным Дж. Х. Лаптоном, магистром медицины,

Святой Патрик: его жизнь и учение.

Преподобным Э. Дж. Ньюэллом, магистром (2с. 6г.)

Синезием Киренским, философом и епископом.

Элис Гарднер.

Отцы-апостолы.

Преподобным Х. С. Холландом.

Защитники Веры;

или христианские апологеты Второго и Третьего веков.

Преподобным Ф. Уотсоном, магистром медицины

Достопочтенным Бедой.

Преподобным Г. Ф. Брауном.

РАЗНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ.

		с. г.
<i>Создание животных (The)</i> . Популярное введение в зоологию. Автор - покойный Томас Раймер Джонс, Ф.Р.С., 488 гравюр на дереве. Столб 8в.	<i>Матерчатые доски</i>	7 6
<i>Красота в обычных вещах</i> . Иллюстрировано 12 рисунками с натуры миссис Дж. У. Уимпер и напечатано в цветах с описаниями автора книги "Жизнь под землей" и с. 4.	<i>Матерчатые доски</i>	10 6
<i>Птичьих гнезд и яиц</i> . С 22 цветными тарелками для яиц. Квадратные 16 м.	<i>Матерчатые доски</i>	3 0
<i>Британские птицы в своих убежищах</i> . Работы покойного преподобного К. А. Джонса, бакалавра гуманитарных наук, Ф.Л.С. Со 190 гравюрами Вулфа и Уимпера. Сообщение 8во.	<i>Матерчатые доски</i>	60
<i>Вечеров за микроскопом</i> или Исследования мельчайших органов и форм животной жизни. Филип Х. Госсе, Ф.Р.С., 112 гравюр на дереве. Сообщение 8во.	<i>Матерчатые доски</i>	4 0
<i>Портфолио из папоротника (The)</i> . Фрэнсис Дж. Хит, автор книги "Где найти папоротники" и др. С 15 рисунками в натуральную величину, изысканно раскрашенными с натуры и сопровождаемыми описательным текстом.	<i>Матерчатые доски</i>	8 0
<i>Рыбы, Естественная история Британии</i> : их строение, хозяйственное использование и ловля сетью и удочкой. Автор - покойный Фрэнк Бакленд. С многочисленными иллюстрациями. Корона 8во.	<i>Матерчатые доски</i>	5 0
<i>Полевых цветов</i> . Автор - покойный преподобный К. А. Джонс, Б.А., Ф.Л.С. С многочисленными гравюрами на дереве. Сообщение 8во.	<i>Матерчатые доски</i>	5 0
<i>Лесных деревьев Великобритании</i> . Автор: покойный преподобный К. А. Джонс, Б.А., Ф.Л.С., 150 гравюр на дереве. Сообщение 8во.	<i>Матерчатые доски</i>	50
<i>Причуд и чудес растительной жизни</i> ; или Диковинки растительности. Автор М. К. Кук, магистр права, с многочисленными иллюстрациями. Сообщение 8во.	<i>Матерчатые доски</i>	6 0
<i>Человек и дело его рук</i> . Автор - покойный преподобный Дж. Дж. Дж. Вуд, автор книги "Переулки и поля" и др. С примерно 500 иллюстрациями. Большой столб 8в.	<i>Матерчатые доски</i>	10 6
<i>Естественная история Библии (The)</i> . Автор: преподобный каноник Тристрем, автор книги "Земля Израиля" и др. С многочисленными	<i>Матерчатые доски</i>	50

иллюстрациями. Корона 8во.

<i>Природа и ее слуги; или Зарисовки животного царства. Преподобного Теодора Вуда. С многочисленными гравюрами на дереве. Большой столб 8в.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	5 0
<i>Океан (The). Филип Генри Госсе, член Королевской академии наук, автор книги "Вечера за микроскопом". С 51 иллюстрацией и гравюрами на дереве. Столб 8в.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	30
<i>Наших союзников-птиц. Преподобного Теодора Вуда. С многочисленными иллюстрациями. Фсар. 8во.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	2 6
<i>Наши союзники-насекомые. Преподобный Теодор Вуд. С многочисленными иллюстрациями. Фсар. 8во.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	2 6
<i>Наши враги-насекомые. Преподобный Теодор Вуд. С многочисленными иллюстрациями. Фсар. 8во.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	2 6
<i>Наш островной континент. Каникулы натуралиста в Австралии. Автор: Дж. Э. Тейлор, F.L.S., F.G.S. С картой. Фсар. 8во.</i>	<i>Суконные доски</i>	2 6
<i>Наших родных Певчих. Автор Энн Пратт, автора книги "Полевые цветы". С 72 цветными пластинками. 16мо.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	60
<i>Селборн (Естественная история). Преподобный Гилберт Уайт. С фронтисписом, картой и 50 гравюрами на дереве. Столб 8в.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	2 6
<i>Труженики в море. Автор М. К. Кук, магистр права. Пост 8. С многочисленными иллюстрациями.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	50
<i>Зарисовки на обочине. Ф. Эдвард Халм, F.L.S., F.S.A. С многочисленными иллюстрациями. Корона 8во.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	50
<i>Где найти папоротники. Фрэнсис Дж. Хит, автор книги "Портфолио папоротников" и др. С многочисленными иллюстрациями. Фсар. 8во.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	16
<i>Полевых цветов. Энн Пратт, автор книги "Наши родные певчие" и др. Со 192 цветными пластинками. В двух томах. 16мо.</i>	<i>Матерчатые доски</i>	12 0

ЛОНДОН:

Нортумберленд-авеню, Чаринг-Кросс, Вашингтон;
улица Королевы Виктории, 43, Е.К.

БРАЙТОН: Норт-стрит, 135.

Примечание переписчиков

На странице 162 приведено уравнение :

$$\therefore Z + x'X' + \mu'W = \alpha W$$

$$Z = (\alpha W - \mu')W - x'X'$$

печатается как:

$$\therefore Z + x_1X' + \mu'W = \alpha W$$

$$Z = (\alpha W - \mu')W - x'X'$$